

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

**TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN MECANICA AUTOMOTRIZ**

**Estudio del sistema híbrido, diseño, construcción e implementación
de un modelo de conexión de fuerzas propulsoras de transmisión
por medio de engranajes planetarios.**

José Elías Acosta Jiménez

Director: Mgs. Andrés Castillo

2013

Quito, Ecuador

CERTIFICACIÓN

Yo, José Elías Acosta Jiménez, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Firma del graduando

José Elías Acosta Jiménez

ID: 172030047-2

CERTIFICACIÓN

Yo, Andrés Castillo, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo él responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Andrés Castillo', is written over a horizontal line.

Firma del Director Técnico de Trabajo de Grado

Ing. Andrés Castillo

Director

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico:

A mis padres

Este trabajo que refleja el esfuerzo y sacrificio que me brindaron en cada momento, para hacer de mí, un ser humano digno de representar a mi Patria y honrar a mi familia con amor y gratitud.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme estar vivo e iluminar el sendero de mi vida, dándome la fortaleza para luchar por mis sueños, anhelos y llegar a ganar batallas en el diario vivir grandes o pequeñas, golpean fuerte al espíritu para continuar.

A mi familia que ha sido el apoyo incondicional y abnegado en mi vida: a mis padres por su cariño infinito, mis hermanas Rosa Alexandra y Diana Maribel porque alentaron en mí los deseos de esfuerzo y superación y a mis canes Chester y Aslan compañeros leales y nobles.

Gratitud a mi colegio el Instituto Nacional Mejía “cuna de libertad” en la cual forme mis ideales, sueños e ilusiones y aprendí a luchar contra la injusticia, tiranía y opresión con la ambición de libertad y justicia.

Gracias a mi primo el Ing. Jaime Jiménez por la guía y criterio en este proyecto.

Gracias a los docentes universitarios por impartir sus conocimientos, experiencia y su disposición constante ante cualquier duda e inquietud, en especial al Tlgo. Martin Molina por su guía, valoración y criterio al iniciar el proyecto.

Agradezco aquellas personas que estuvieron junto a mí brindándome su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

PRESENTACION

En el transcurso de mi vida y mi carrera he tenido muy presente la necesidad de indagar conocimientos nuevos, explorar procedimientos o métodos, ver las cosas desde una perspectiva distinta a la común lo cual es difícil ya que origina violenta oposición en cualquier ámbito, sin embargo no es un obstáculo relevante que no pueda vencer la confianza en uno mismo y la perseverancia que guía al éxito.

El interés por lo desconocido es lo que ha uno le permite día a día seguir alimentando la mente y mantener esa sed latente que conduce a la superación personal y profesional.

Antes de terminar mi carrera universitaria, empezaron a ingresar vehículos híbridos a nuestro país, en ese momento buscaba información la misma que era limitada en medio electrónico peor aún en bibliográficos. Esta fue una de las razones que me motivo a indagar en el funcionamiento de los sistemas híbridos, para posteriormente presentar mi proyecto el cual plasma en un modelo práctico la operación del sistema de transmisión híbrido, pieza clave para tener una idea clara de la conexión y desconexión de los motores eléctrico y térmico en distintas fases de funcionamiento.

El presente proyecto permite al lector conocer la evolución, estructura, construcción y operación de un sistema híbrido funcional basado en el empleo versátil de la energía térmica y eléctrica favoreciendo al medio ambiente y optimizando el consumo mínimo de recursos no renovables.

Hoy en día el impacto que han tenido los automóviles híbridos es positivo, acogidos con buena aceptación por parte de los usuarios a nivel mundial y en nuestro país. Esta tecnología sigue su evolución a pasos gigantes por eso es importante enfatizar que ahora la mayoría de marcas de automóviles tienen su modelo híbrido, y su funcionamiento muchas veces difiere de la competencia en distintos aspectos propios del fabricante sin embargo no pierde el concepto universal que refiere a un vehículo de propulsión alternativa.

Aspiro que este trabajo aporte a la formación académica y promueva otros estudios siendo un tema amplio en dimensiones.

“Per aspera ad astra”

INDICE GENERAL

CAPITULO 1.....	1
INTRODUCCION SISTEMAS HIBRIDOS	1
OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVOS ESPECIFICOS	1
JUSTIFICACION	1
1.1. ARGUMENTACION.....	2
1.1.1. Los primeros prototipos modernos	3
1.1.2. Los híbridos vuelven al mercado.....	8
1.1.3. ¿Qué es un vehículo híbrido?	11
1.2. ESTRUCTURA.....	13
1.2.1. Híbrido en serie.....	13
1.2.2. Híbrido en paralelo.....	16
1.3. MOTORES	20
1.4. MEDIO AMBIENTE	24
CAPITULO 2.....	27
SISTEMA HIBRIDO FUNCIONAMIENTO	27
2.1. MOTOR TERMICO	27
2.2. TRANSMISION	29
2.3. BATERIAS	31
2.3.1. Sistema de enfriamiento de la batería HV	34
2.3.2. Módulo de la batería HV	37
2.3.3. Batería auxiliar	38
2.4. GENERADORES	40
2.5. MOTOGENERADORES (MG1 Y MG2)	42
2.5.1. Motor de imán permanente	47
2.5.2. Sensor de velocidad / separador.....	48
2.6. INVERSOR	50
2.6.1 Convertidor de elevación de tensión	54
2.6.2. Convertidor de CC/CC	55
2.6.3. Inversor del A/C	56

2.7. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO INVERSOR Y MOTOGENERADORES	57
2.8. SISTEMA DE ALTA TENSIÓN	60
2.9. FRENOS REGENERATIVOS.....	64
2.8.1. Distribución de la fuerza de los frenos	66
2.10. ECU DEL SISTEMA HÍBRIDO	67
CAPITULO 3.....	70
SISTEMA DE TRANSMISION HIBRIDO.....	70
3.1. ANTECEDENTES	70
3.1.1. Relación de cambio	72
3.1.2. Tipos de sistemas de engranajes.....	74
3.1.3. Operación de los engranajes planetarios en una transmisión automática	76
3.2. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ENGRANAJES PLANETARIOS EN VEHÍCULOS HÍBRIDOS.....	80
3.2.1. Unidad del Transeje.....	80
3.2.2. Unidad de engranajes planetarios.....	83
3.2.3. Amortiguador del transeje	85
3.2.4. Unidad de reducción	86
3.2.5. Unidad de lubricación.....	89
3.2.6. Conjunto de cambios de la transmisión.....	90
3.3. CINEMÁTICA DEL MECANISMO.....	93
3.3.1. Engranés	93
3.3.2. Relación de reducción de velocidad.....	94
3.3.3. Tipos de engranes	95
3.3.4. Nomenclatura y propiedades del diente de engranes rectos.....	98
3.3.5. Propiedades del diente del engrane.....	103
3.3.6. Angulo de presión	104
3.3.7. Relación de velocidades y trenes de engranes	105
3.3.8. Engranajes planetarios	107
3.3.9. Cálculo de relaciones de transmisión sistema planetario	108
3.4. TRANSMISION DE POTENCIA Y TORQUES.....	109
3.4.1. Tablas de rendimiento.....	110
3.4.2. Curvas de rendimiento	111
3.4.3. Modos de control	112

CAPITULO 4.....	118
CONSTRUCCION DEL MODELO	118
4.1. CONSTRUCCION	119
4.1.1. Plataforma base.....	119
4.1.2. Corona motriz	120
4.1.3. Satélite y porta satélites	122
4.1.4. Piñón solar	123
4.1.5. Disco de accionamiento piñón solar	124
4.1.6. Manzana de la corona y ejes de piñones reductores	125
4.1.7. Piñones reductores	126
4.1.8. Bastidor corona motriz	127
4.1.9. Bastidor piñones reductores	128
4.1.10. Manijas de accionamiento.....	129
4.1.11. Rueda motriz	129
4.1.12. Propiedades del material	130
4.1.13. Rodamientos.....	131
4.2. PRUEBAS EN LABORATORIO (SOLIDWORKS)	132
4.2.1. Análisis piñón solar	133
4.2.2. Análisis piñón satélite.....	140
4.2.3. Análisis corona externa.....	147
4.2.4. Análisis corona interna.....	154
4.2.5. Análisis piñón reductor.....	161
CAPITULO 5.....	168
ANALISIS DE RESULTADOS.....	168
5.1. EVALUACION DE FUNCIONAMIENTO	168
5.2. ANALISIS COMPARATIVO	170
5.3. SIMULACIÓN DE OPERACIÓN EN TIEMPO REAL MEDIANTE UN SOFTWARE. .	173
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	180
Bibliografía.....	182
ANEXOS.....	183
Planos de elementos contruidos.....	183
Tablas de Materiales	184

Nailon 6/10	184
Acero AISI 1020.....	185
Aluminio 6061 T6.....	185

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1 Opel Kadett Stir-Lec I	4
Figura 1.2 Prototipo de híbrido Buick Skylark 1972	6
Figura1.3 Toyota GT Hybrid Concept	7
Figura 1.4 Toyota Prius 1997	9
Figura 1.5 Ford Escape Hybrid 2004	10
Figura 1.6 Funcionamiento del vehículo híbrido	13
Figura 1.7 Diagrama Híbrido Serie.....	14
Figura 1.8 Estructura híbrido serie	16
Figura 1.9 Diagrama híbrido paralelo.....	17
Figura 1.10 Estructura híbrido paralelo	18
Figura 1.11 Configuraciones de funcionamiento	19
Figura 1.12 Gráfica del ratio de funcionamiento motor eléctrico/motor térmico	20
Figura 1.13 Motor Híbrido en corte	22
Figura 1.14 Ciclos de funcionamiento.....	23
Figura 2. 1 Ciclo Atkinson.....	28
Figura 2. 2 Sincronización de válvulas	29
Figura 2. 3 Transmisión híbrida en corte	30
Figura 2. 4 Estructura sistema planetario	31
Figura 2. 5 Batería Toyota Prius C	33
Figura 2. 6 Disposición de los componentes principales de la batería	34
Figura 2. 7 Soplador de aire baterías	35
Figura 2. 8 Clavija de seguridad baterías HV	36

Figura 2. 9 Disposición de los componentes sistema enfriamiento batería HV	37
Figura 2. 10 Modulo electrónico de la batería HV	38
Figura 2. 11 Disposición de la batería auxiliar	39
Figura 2. 12 Batería Auxiliar Prius C	39
Figura 2. 13 Motogenerador 1	40
Figura 2. 14 Motogenerador 2	41
Figura 2. 15 Diagrama del sistema.....	42
Figura 2. 16 MG1 en ignición	43
Figura 2. 17 Inicio operación MG1 se observa el desfase.....	43
Figura 2. 18 Diagrama IPM	46
Figura 2. 19 Señales CP1 y CN1	47
Figura 2. 20 Estructura interna del motor eléctrico	48
Figura 2. 21 Estructura del sensor de posición del polo magnético	49
Figura 2. 22 Inversor Prius C sport.....	51
Figura 2. 23 Inversor estructura interna	52
Figura 2. 24 Serpentin de enfriamiento inversor	58
Figura 2. 25 Sistema de refrigeración inversor – motogeneradores.....	59
Figura 2. 26 Bobina reactiva y modulo IPM	60
Figura 2. 27 Cables HV conexiones inversor	61
Figura 2. 28 Componentes y cables de alto voltaje	63
Figura 2. 29 Estructura del sistema alto voltaje.....	63
Figura 2. 30 Frenos regenerativos principio de funcionamiento	65
Figura 2. 31 Cambios en la distribución de fuerza de frenado	66

Figura 2. 32 Esquema del sistema de frenado regenerativo	67
Figura 2. 33 PWM (modulación ancho de pulso).....	68
Figura 2. 34 Diagrama del sistema ECU HV	69
Figura 3. 1 cambio planetario Ford modelo T	71
Figura 3.2 Sistema de engranaje planetario.....	72
Figura 3. 3 Sistema de engranaje planetario Simpson	75
Figura 3.4 Sistema Planetario Ravigneaux	76
Figura 3. 5 Hacia adelante	77
Figura 3. 6 Sobre marcha.....	78
Figura 3. 7 Reversa.....	79
Figura 3.8 Unidad de Transeje	81
Figura 3.9 Esquema de componentes del sistema de transmisión	82
Figura 3.10 Unidad de engranajes planetarios.....	84
Figura 3.11 Estructura del transeje hibrido.....	84
Figura 3. 12 Sistema de transmisión en corte Prius C	85
Figura 3.13 Amortiguador del Transeje	86
Figura 3.14 Unidad de engranajes del diferencial 2nd y 3ra generación.....	87
Figura 3.15 Unidad de reducción	88
Figura 3. 16 Cadena silenciosa Prius 2nd generación	89
Figura 3.17 Sistema de lubricación	90
Figura 3. 18 Palanca de selección de cambios	91
Figura 3. 19 Actuador de control de cambios.....	92
Figura 3. 20 Mecanismo de bloqueo de estacionamiento	92

Figura 3. 21 Mecanismo de reducción cicloide.....	93
Figura 3 22. Cinemática de los engranes.....	95
Figura 3.23 Características de los dientes de engranes	100
Figura 3.24 Propiedades de pares de engranes	104
Figura 3.25 Angulo de presión	105
Figura 3.26 Engrane interno impulsado por piñón externo.....	107
Figura 3.27 Curvas de rendimiento motores	111
Figura 3.28 Curva de rendimiento del sistema.....	112
Figura 3.29 Detención	113
Figura 3.30 Iniciando.....	114
Figura 3.31 Conducción normal	115
Figura 3.32 Aceleración fuerte y velocidad crucero alta.....	116
Figura 3.33 Desaceleración y frenado.....	117
Figura 4.1 Proceso maquinado	119
Figura 4.2 Proceso maquinado	119
Figura 4.3 Proceso maquinado	120
Figura 4. 4 Corona vista lateral	121
Figura 4.5 Maquinado dentado interno.....	121
Figura 4. 6 Disco de satélites	122
Figura 4. 7 Disco de satélites	122
Figura 4. 8 Piñón satélite.....	122
Figura 4.9 Engranaje solar	123
Figura 4.10 Engranaje solar	124

Figura 4. 11 Disco de accionamiento piñón solar.....	124
Figura 4.12 Disco de accionamiento piñón solar VF	125
Figura 4.13 Manzana corona.....	125
Figura 4.14 Ejes	126
Figura 4.15 Maquinado piñones reductores	127
Figura 4.16 Bastidor corona motriz	128
Figura 4.17 Bastidor piñones reductores.....	128
Figura 4.18 Maquinado manija accionamiento	129
Figura 4.19 Rueda motriz.....	130
Figura 4.20 Rodamientos HBL 6200RS	131
Figura 4. 21 Tensiones piñon solar	136
Figura 4. 22 Desplazamientos piñón solar	137
Figura 4. 23 Deformaciones unitarias piñon solar	138
Figura 4. 24 Factor de seguridad piñon solar	139
Figura 4. 25 Tensiones piñon satélite.....	143
Figura 4. 26 Desplazamientos piñón satélite.....	144
Figura 4. 27 Deformaciones unitarias piñon satellite.....	145
Figura 4. 28 Factor de seguridad piñon satélite	146
Figura 4. 29 Tensiones corona externa.....	150
Figura 4. 30 Desplazamientos corona externa	151
Figura 4. 31 Deformaciones unitarias corona externa.....	152
Figura 4. 32 Factor de seguridad corona externa.....	153
Figura 4. 33 Tensiones corona interna.....	157

Figura 4. 34 Desplazamientos corona interna.....	158
Figura 4. 35 Deformaciones unitarias corona interna.....	159
Figura 4. 36 Factor de seguridad corona interna.....	160
Figura 4. 37 Tensiones piñón reductor.....	164
Figura 4. 38 Desplazamientos piñón reductor.....	165
Figura 4. 39 Deformaciones unitarias piñón reductor.....	166
Figura 4. 40 Factor de seguridad piñón reductor.....	167
Figura 5. 1 Estructura del modelo de transmisión hibrido	169
Figura 5. 2 Análisis PSD y modelo construido.....	170
Figura 5. 3 Transeje hibrido Prius	172
Figura 5. 4 Modelo transeje hibrido construido.....	173
Figura 5. 5 Operación simulador boton panel “P”	175
Figura 5. 6 Operación simulador posición “B”	176
Figura 5. 7 Operación simulador posición “D”	177
Figura 5. 8 Posición “N” o punto muerto.....	178
Figura 5. 9 Posición “R” o marcha atrás.....	179

INDICE DE TABLAS Y CUADROS

Tabla 2.1 Especificaciones MG1 – MG2	41
Tabla 2. 2 Condiciones de funcionamiento Motogeneradores y MCI	44
Tabla 2.3 Sistema de control de frenos.....	65
Tabla 3. 1 Operación conjunto de engranajes planetarios simple	74
Tabla 3.2 Engranaje planetario con variantes de desmultiplicación	108
Tabla 3.3 Rendimiento motor gasolina.....	110
Tabla 3.4 Rendimiento Motor eléctrico y generador.....	111
Tabla 4. 1 Información de modelo – piñón solar.....	133
Tabla 4. 2 Propiedades de material - piñón solar	134
Tabla 4. 3 Cargas y sujeciones – piñón solar.....	134
Tabla 4. 4 Fuerzas y momentos de reacción – piñón solar	135
Tabla 4. 5 Información de la malla – piñón solar	135
Tabla 4. 6 Información de modelo – piñón satélite	140
Tabla 4. 7 Propiedades del material – piñón satélite.....	141
Tabla 4. 8 Cargas y sujeciones - piñón satélite	141
Tabla 4. 9 Fuerzas y momentos de reacción - piñón satélite	142
Tabla 4. 10 Información de la malla - piñón satélite	142
Tabla 4. 11 Información de modelo – corona externa	147
Tabla 4. 12 Propiedades de material - corona externa.....	148
Tabla 4. 13 Cargas y sujeciones - corona externa	148
Tabla 4. 14 Fuerzas y momentos de reacción - corona externa.....	149
Tabla 4. 15 Información de la malla - corona externa	149

Tabla 4. 16 Información de modelo - corona interna	154
Tabla 4. 17 Propiedades del material - corona interna.....	155
Tabla 4. 18 Cargas y sujeciones - corona interna	155
Tabla 4. 19 Fuerzas y momentos de reacción - corona interna.....	156
Tabla 4. 20 Información de la malla - corona interna	156
Tabla 4. 21 Información de modelo – piñón reductor	161
Tabla 4. 22 Propiedades de material - piñón reductor.....	162
Tabla 4. 23 Cargas y sujeciones - piñón reductor	162
Tabla 4. 24 Fuerzas y momentos - piñón reductor	163
Tabla 4. 25 Información de malla - piñón reductor	163
Tabla 5. 1	170

SÍNTESIS

Actualmente la tecnología automotriz crece a pasos gigantes brindando mayores beneficios y seguridad a los usuarios, esto se ha hecho posible gracias a la electrónica la cual cada vez tiene mayor grado de influencia en los sistemas mecánicos del automóvil logrando mayor eficiencia y versatilidad.

Este proyecto me ha permitido conocer la evolución de los vehículos híbridos de modo de establecer un proceso de investigación que me permita estudiar el sistema híbrido del vehículo Toyota Prius superando la limitada información en las fuentes de indagación.

El funcionamiento del sistema híbrido se basa en principios básicos de una transmisión automática, claro está que en el caso del híbrido no se limita solo a utilizarla para sincronizar cambios sino ya es parte de la conexión de fuerzas propulsoras del vehículo, esto lo realiza mediante un sistema de engranajes planetario el cual permite manejar altos torques y establecer una fácil conexión.

Teniendo en cuenta la limitada información sobre esta tecnología decidí construir e implementar un modelo de transmisión híbrido con fines didácticos, permitiendo de esta manera tener un medio tangible que facilite la comprensión y capacitación al alumno en esta tecnología que actualmente podemos ver que en el mundo y en nuestro país ocupa un lugar importante favoreciendo al medio ambiente, cuidando los recursos no renovables y brindando confort a los usuarios.

TRADUCCIÓN AL INGLES

TITLE:

Hybrid system study, design, construction and implementation of a connection model driving forces transmitted through planetary gears.

ABSTRACT

Currently growing automotive technology giant steps and provided greater security benefits to users, this has been made possible by electronics which have increasingly greater influence on the mechanical systems of the car achieving greater efficiency and versatility.

This project has allowed me to know the evolution of hybrid vehicles so as to establish a research process that allows me to study the system Toyota Prius hybrid vehicle surpassing the limited information on the sources of inquiry. The operation of the hybrid system is based on basic principles of an automatic transmission, of course in the case of the hybrid is not limited to use to synchronize changes but it's part of the connection of the vehicle driving forces, this is done by a planetary gear system which can handle high torque and establish an easy connection.

Given the limited information on this technology decided to build and implement a hybrid transmission model for teaching purposes, thus allowing to have a tangible medium that facilitates the understanding and training students in the technology that

we currently see in the world and in our country has an important place favoring the environment, taking care of non-renewable resources and providing comfort to users.

KEYS WORDS: 200

CAPITULO 1

INTRODUCCION SISTEMAS HIBRIDOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un modelo del sistema de transmisión planetario con fines didácticos basado en un accionamiento híbrido y conexión de fuerzas propulsoras del vehículo Toyota Prius.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar el funcionamiento de un vehículo híbrido.
- Estudiar los ciclos y etapas de operación del motor térmico y eléctrico.
- Analizar la estructura y partes del sistema.
- Construir un modelo didáctico – práctico del sistema de transmisión y conexión de fuerzas propulsoras.

JUSTIFICACION

Este proyecto de investigación, se lo realiza superando la limitada información tanto en medios virtuales como bibliográficos, a fin de aportar un documento de consulta y un modelo didáctico - práctico para el análisis y funcionamiento de un vehículo híbrido, lo que facilitará el proceso de enseñanza - aprendizaje.

1.1. ARGUMENTACION

La historia de los vehículos híbridos comenzó entre finales del siglo 19 e inicios del siglo 20 época en la cual la gasolina no era considerada como combustible predominante en el automóvil, varios inventores realizaban pruebas con fuentes de energía alternativas que permitan propulsar un automóvil, entre los cuales se encuentran: combustibles fósiles, vapor, electricidad y combinaciones de estos.

En el año 1900, Elektromobil Lohner-Porsche hace debut en la Exposición de París, un cabriolet de dos plazas de propulsión eléctrica, obtenida de una gran acumulación de baterías de ácido de plomo, pesadas y de poca autonomía. La energía se transmitía a dos motores eléctricos, acoplados en las propias ruedas del coche. En inicios puramente un vehículo eléctrico, hasta que el diseñador Ferdinand Porsche pronto añadió un motor de combustión interna para recargar las baterías, por lo que es el primer vehículo eléctrico híbrido. (© 1998-2013 HowStuffWorks, 2013) (Diariomotor, 2009)

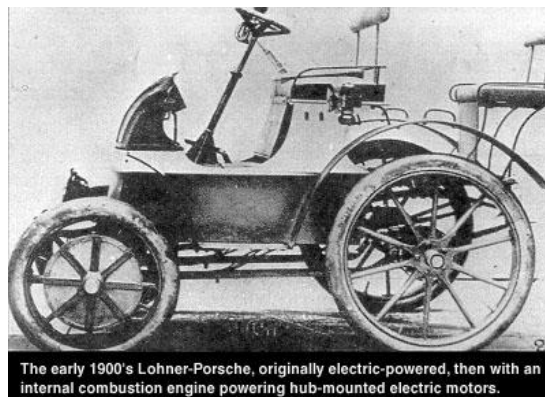


Figura 1. 1 Löhner-Porsche Mixte Hybrid

<http://www.hybrid-vehicle.org/hybrid-vehicle-history.html>

En 1915, Woods Constructores de Automóviles creó el vehículo híbrido de energía dual. En lugar de la combinación de las dos fuentes de potencia para producir una sola salida del poder, el poder dual utiliza un motor eléctrico de batería para alimentar el motor a velocidades bajas (por debajo de 25 kmh) y se utiliza el motor de gasolina para llevar el vehículo a mayores velocidades, siendo 55km / h su velocidad máxima. (HistoryOfHybridCars.com, 2008)

Entre los años 1960 - 1970 durante la crisis mundial del petróleo, el congreso de Estados Unidos elabora un programa estatal para desarrollar prototipos de vehículos híbridos y de esta manera reducir la contaminación ambiental. La industria empieza a moverse tímidamente. Es entonces cuando Victor Wouk un ingeniero eléctrico, inventor e investigador estadounidense plantea que el futuro no estaba en el motor eléctrico, sino en el híbrido gasolina/eléctrico, lo que le valió bastantes críticas. (Costas, 2009)

1.1.1. Los primeros prototipos modernos

En 1969 General Motors muestra tres prototipos de microcoche, uno eléctrico, otro híbrido y otro sólo a gasolina, los XP512. Las prestaciones eran anecdóticas, así como sus cifras en general, no fueron más que demostradores tecnológicos. En el mismo año sacaron un prototipo de coche normal, el Opel Kadett Stir-Lec I. (Costas, 2009)

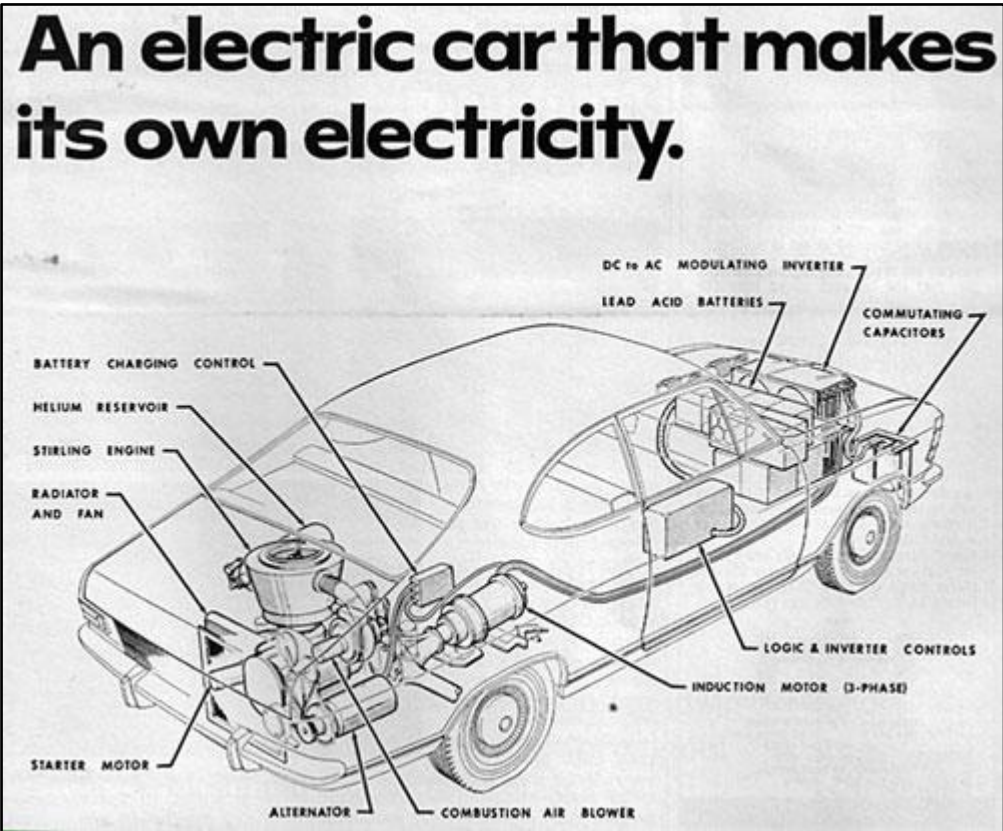


Figura 1. 2 Opel Kadett Stir-Lec I

Costas, J. (25 de Junio de 2009). <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>.

Los modelos 100% eléctricos demostraban que quedaba mucho por hacer, las baterías daban prestaciones muy pobres y su limitación en cuanto a velocidad y autonomía, así que los híbridos eran la alternativa más viable. En 1970 se emite la Clean Air Act en Estados Unidos, que pide reducir las emisiones un 95% para 1976. (Costas, 2009)

Poco después se produce un incentivo muy grande para la investigación de la propulsión alternativa, la crisis del petróleo de 1973. Las imágenes de colas

kilométricas para cargar gasolina dieron la vuelta al Mundo y dieron un aviso a Occidente: dependían demasiado del petróleo y debían buscar las formas de ser más autosuficientes y reducir su inmenso gasto. (Costas, 2009)

Entre 1968 y 1971 tres científicos investigaron sobre combinaciones de sistemas híbridos. Baruch Berman, George H. Gelb y Neal A. Richardson desarrollaron y patentaron un sistema de transmisión electromecánica que conseguía más eficiencia utilizando un motor pequeño de combustión interna. Muchas de sus ideas se han utilizado en híbridos modernos. (Costas, 2009)

La alemana Volkswagen desarrolló en 1973 el Volkswagen Taxi, que se mostró en salones de Estados Unidos principalmente. El Taxi tenía la habilidad de funcionar tanto con gasolina como con motor eléctrico alternativamente o a la vez, logrando más eficiencia que ningún híbrido hasta la fecha. Recorrió casi 13.000 kilómetros en pruebas. (Costas, 2009)



Figura 1. 3 Prototipo de híbrido Buick Skylark 1972

Costas, J. (25 de Junio de 2009). <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>.

En 1973 Victor Wouk y Charlie Rosen construyen un prototipo de híbrido sobre un 1972 Buick Skylark cedido por General Motors. Se eligió ese modelo por el volumen vacío que tenía en el cofre del motor, dentro alojaron un motor eléctrico de 20 CV y un motor rotativo del Mazda RX-2. No llegó a superar los 136 km/h en las pruebas debido a unos traqueteos estructurales. (Costas, 2009)



Figura 1. 4 Toyota GT Hybrid Concept

Costas, J. (25 de Junio de 2009). <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>.

Mientras Victor Wouk intentó mostrar las bondades de la tecnología durante años, en General Motors el desarrollo continuó a pequeños pasos. En Japón Toyota empieza el desarrollo de coches híbridos también, mostrando en 1976 un prototipo de deportivo híbrido en serie movido por turbina de gas (GT) y motor eléctrico. Se llamaba Toyota GT Hybrid Concept, basado en el Toyota Sports 800 de 1969. (Costas, 2009)

En 1979 Dave Arthurs transformó su Opel GT para crear un híbrido mixto, utilizando el motor de un cortacésped y un motor eléctrico de 400 amperios con baterías de 6 voltios. Se gastó 1.500 dólares en dicho montaje, pero logró un consumo de sólo 2,81-3,14 l/100 km (depende de la fuente). Entre sus soluciones técnicas estaba la frenada regenerativa, que no es nueva por entonces. (Costas, 2009)

En el año siguiente, 1980, la compañía de cortacéspedes Briggs & Stratton desarrollaron un coche híbrido utilizando un bicilíndrico de 16 CV con gasolina y un motor eléctrico, con una potencia combinada de 26 CV. El vehículo era de diseño propio, con dos puertas y seis ruedas. Mientras tanto General Motors invirtió mucho dinero en investigación, creyendo que los eléctricos e híbridos se impondrían a corto plazo. (Costas, 2009)

A finales de la década de los 80 se presenta el Audi Duo, basado en el Audi 100 Avant quattro. Tenía un motor eléctrico de 12,6 CV para el eje trasero y un motor 2.3 de cinco cilindros para el eje delantero, con baterías de níquel-cadmio (NiCD). En 1991 se presenta otro prototipo, Audi Duo II, basado en el mismo coche. La carrocería familiar era idónea por su espacio para las baterías. (Costas, 2009)

Más al norte, la sueca Volvo muestra en 1993 un prototipo denominado Environmental Concept Car, equipado con 349 kilogramos de baterías NiCD. Es un anticipo del ReCharge Concept mostrado en 2007, pues un motor térmico se usaba para recargar la energía de las baterías, pero no tenía conexión física con las ruedas (híbrido en serie y de rango extendido, REHEV). (Costas, 2009)

1.1.2. Los híbridos vuelven al mercado

En 1997 Audi lanza al mercado el Audi Duo III, con un motor 1.9 TDI de 90 CV y un motor eléctrico de 29 CV, en configuración paralela y tracción delantera. Fue el primer híbrido europeo moderno de producción, pero sólo se vendieron 60 unidades y fue un fracaso comercial por su elevado precio. (Costas, 2009)



Figura 1. 5 Toyota Prius 1997

Costas, J. (25 de Junio de 2009). <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>.

Es finalmente Toyota la que lanza al mercado japonés el Toyota Prius (en latín, “pionero”) en diciembre de 1997, es el primer híbrido de producción masiva del Mundo. Es un híbrido puro, con una cantidad muy elevada de soluciones técnicas innovadoras e incluso un problema de patentes que los jueces fallaron en contra de Toyota. El primer año de ventas fue un éxito, 18.000 unidades. A finales de 2000 se vendió en otros mercados con algunos cambios. (Costas, 2009)

Honda se apunta a la carrera en 1999 con el Honda Insight, un semihíbrido con cambio manual o CVT, de reducido tamaño y peso, aerodinámica optimizadísima y un consumo de combustible realmente bajo. Se vendió en EEUU, en España no

llegamos a verlo. Entre 2003 y 2005 se vende el Honda Civic IMA como respuesta al Prius, con cambio manual. (Costas, 2009)

Gracias a la buena acogida de estos modelos, aparecen sus sucesores, Toyota Prius II y Honda Civic Hybrid, que son modelos totalmente nuevos y con cambio CVT. Mientras Honda apuesta por el esquema semihíbrido, Toyota apuesta por el híbrido puro y lo traslada al segmento de lujo por primera vez con la gama de híbridos Lexus: Lexus RX 400h, Lexus GS 450h y Lexus LS 600h. (Costas, 2009)

La justificación de la hibridación con lujo fue como demostración tecnológica y para aumentar el placer de conducción, no pensando en un gasto más bajo aunque eso estaba como efecto secundario. La tecnología Toyota se ha vendido a fabricantes como Ford a cambio de sus conocimientos en otras áreas, como motores diesel. (Costas, 2009)



Figura 1. 6 Ford Escape Hybrid 2004

Costas, J. (25 de Junio de 2009). <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>.

En 2004 aparece el primer híbrido de comercialización masiva americano, también el primer SUV híbrido del Mundo, Ford Escape Hybrid. Tiene un motor Atkinson 2.3 de 156 CV y módulo eléctrico de 94 CV, en versiones 4×2 y 4×4. Su consumo de combustible en autovía es 7,6 l/100 km (4×2) u 8,1 l/100 km (4×4). En su día fue el SUV más eficiente del mercado americano. (Costas, 2009)

En Estados Unidos los híbridos aparecen como transformación de modelos existentes, no son diseños pensados desde cero para conseguir consumos bajos, al igual que los Lexus. Los Prius e Insight son modelos diseñados desde cero, no tienen versiones convencionales a la venta. Hoy día donde más variedad hay de híbridos es en el mercado estadounidense. (Costas, 2009)

Japoneses y americanos piensan únicamente en híbridos a gasolina, pero en Europa se están investigando soluciones híbridas con motor diesel en Citroën, Opel y Peugeot principalmente. Estos modelos aparecerán a medio plazo en el mercado. (Costas, 2009)

1.1.3. ¿Qué es un vehículo híbrido?

El concepto del auto híbrido es tratar de aprovechar los recursos tecnológicos para solucionar dos tipos de problemas en el mundo, por un lado la contaminación ambiental y por otro, el alto consumo de combustible convencional.

Los híbridos son automóviles que utilizan un motor eléctrico, y un motor de combustión interna para realizar su trabajo. A diferencia de los automóviles solo eléctricos, hay vehículos híbridos que no es necesario conectar a una toma de corriente para recargar las baterías, el generador y el sistema de "frenos regenerativos" se encargan de mantener la carga de las mismas.

Al utilizar el motor térmico para recargar las baterías, se necesitan menor número de estas por lo que el peso total del vehículo es menor ya que el motor térmico suele ser pequeño.

Tradicionalmente, los motores que han propulsado a los automóviles convencionales han sido sobredimensionados con respecto a lo estrictamente necesario para un uso habitual. La nota dominante ha sido, y es aún, equipar con motores capaces de dar una potencia bastante grande, pero que sólo es requerida durante un mínimo tiempo en la vida útil de un vehículo.

Los híbridos se equipan con motores de combustión interna, diseñados para funcionar con su máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga las baterías del sistema. En otras situaciones, funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía guardada en la batería.

En algunos híbridos es posible recuperar la energía cinética al frenar, que suele disiparse en forma de calor en los frenos, convirtiéndola en energía eléctrica. Este tipo de frenos se suele llamar "regenerativos".



Figura 1.1 Funcionamiento del vehículo híbrido

Aficionados a la Mecánica ©. (2012). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

1.2. ESTRUCTURA

La configuración de un vehículo híbrido depende de la disposición de los elementos que lo componen, por lo que se pueden clasificar en híbridos serie e híbridos en paralelo.

1.2.1. Híbrido en serie

En estos vehículos el motor de combustión proporciona movimiento a un generador que carga las baterías o suministra la potencia directamente al sistema de propulsión (motor eléctrico) y por lo tanto reduce la demanda a la batería.

El dispositivo generador se utiliza principalmente como un amplificador de prestaciones, por lo que en la mayoría de los kilómetros se circula con las baterías. Cuando la duración del viaje excede a las prestaciones de la batería, el dispositivo generador se enciende. Para viajes más largos, el dispositivo generador puede ser conectado automáticamente cuando las baterías alcanzan un nivel predeterminado de descarga. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

El motor térmico impulsa un generador eléctrico, normalmente un alterador trifásico, que recarga las baterías, una vez rectificada la corriente, y alimenta al motor o motores eléctricos y estos son los que impulsan al vehículo. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

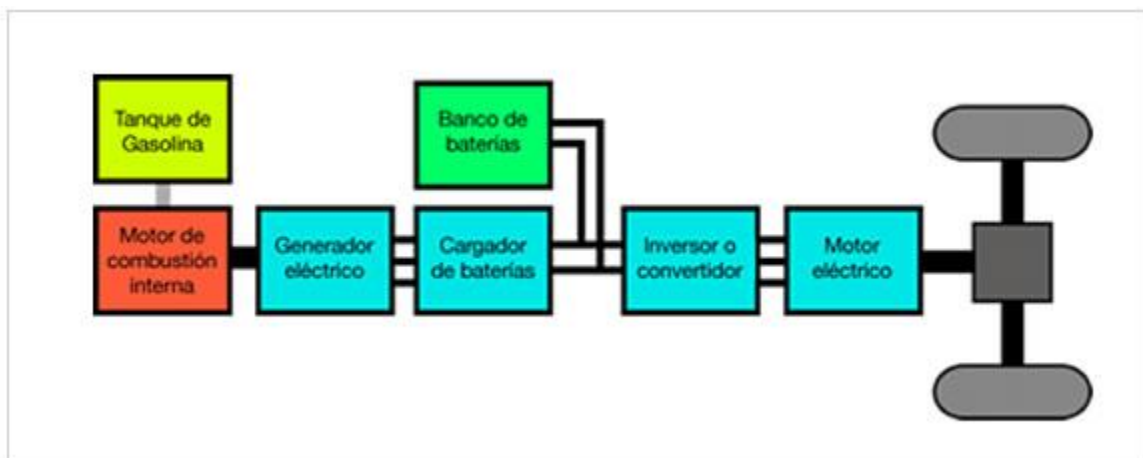


Figura 1.2 Diagrama Híbrido Serie

Aficionados a la Mecánica ©. (2012). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

Dependiendo del rango de velocidades que se quieran ofrecer el dispositivo

generador debe ser mayor o menor. En un principio se propusieron soluciones de bajo rango de velocidades, pero la tendencia hoy en día es la de ir a un rango mayor. Esto implica sistemas de generación mucho mayores. La batería se dimensiona en función de los picos de demanda. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

Así, a altas velocidades, sólo parte de la energía proviene de las baterías, siendo éstas las que suministran la potencia necesaria para aceleraciones y adelantamientos. A velocidad de crucero, la potencia generada en exceso se utiliza para recargar las baterías. Este sistema resulta eficiente si el 80% de los kilómetros recorridos son alimentados por la energía de las baterías que se han recargado desde la red. En caso contrario es difícil la justificación de este tipo de propulsión híbrida ya que la energía eléctrica de las baterías proviene en realidad de la combustión del motor térmico. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

La principal ventaja que ofrece este diseño frente al de en "paralelo" es la de un diseño mecánico simple. Se dispone de un motor térmico diseñado y optimizado para trabajar siempre en el mismo régimen de revoluciones. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

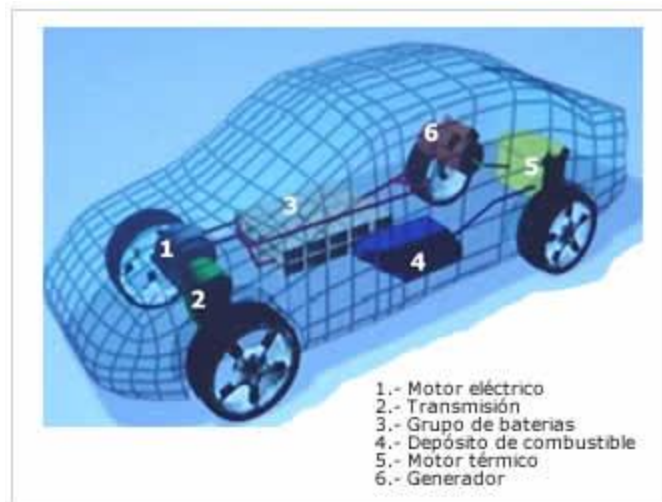


Figura 1.3 Estructura híbrido serie

Aficionados a la Mecánica ©. (2012). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

La desventaja de este tipo de vehículos es que toda la energía producida por el motor térmico tiene que atravesar el generador eléctrico sufriendo muchas pérdidas, debido a la transformación de energía mecánica a eléctrica, y toda la energía para la tracción tiene que pasar por el motor eléctrico. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

1.2.2. Híbrido en paralelo

Este tipo de vehículo utiliza dos sistemas de tracción en paralelo. Según esta configuración ambos proveen de potencia a las ruedas de modo que los dos sistemas pueden ser utilizados independientemente o simultáneamente para obtener una potencia máxima. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

Aunque mecánicamente más complejo, este método evita las pérdidas inherentes a la conversión de energía mecánica en eléctrica que se da en los híbridos en serie. Además como los picos de demanda de potencia le corresponden al motor de combustión interna, las baterías pueden ser mucho menores. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

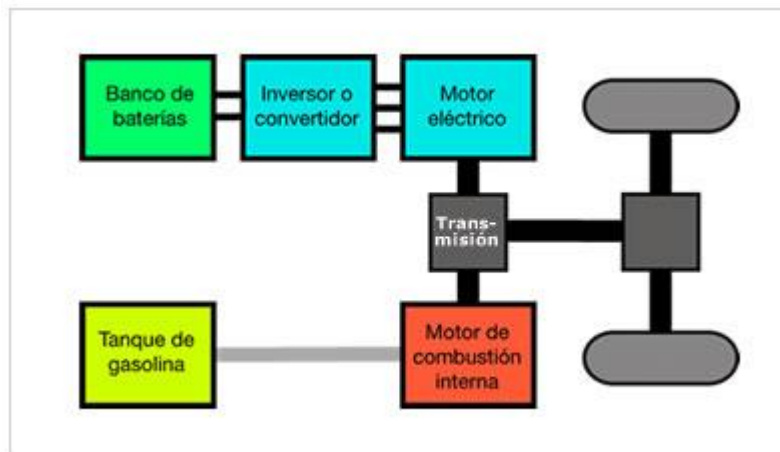


Figura 1.4 Diagrama híbrido paralelo

Aficionados a la Mecánica ©. (2012). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

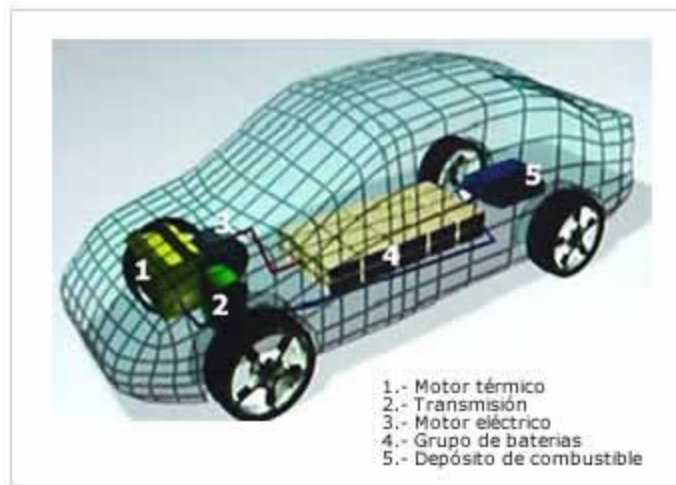


Figura 1.5 Estructura híbrido paralelo

Aficionados a la Mecánica ©. (2012). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

Dentro de los vehículos híbridos "paralelos" podemos distinguir dos arquitecturas: los que usan un generador independiente para cargar las baterías, o los que aprovechan el motor eléctrico para funcionar también como generador.

- Con generador independiente: su inconveniente es que tiene más componentes, el generador, el conversor de corriente alterna a corriente continua y la transmisión entre el motor térmico y el generador por lo que será más pesado y caro. Sin embargo tiene la ventaja que el generador al estar diseñado para funcionar sólo como generador, será más eficiente que el motor funcionando como generador.

- Usando el motor eléctrico como generador: se disminuye el número de componentes, pero puede disminuir el rendimiento.

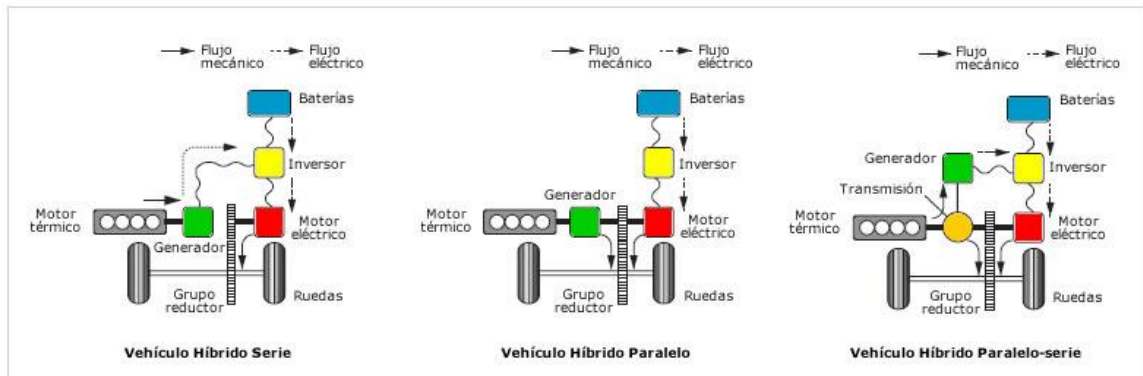


Figura 1.6 Configuraciones de funcionamiento

Aficionados a la Mecánica ©. (2012). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

El vehículo híbrido paralelo con generador independiente también se le clasifica como vehículo híbrido "paralelo-serie". Esta configuración combina las ventajas de ambos sistemas y es la más utilizada por los fabricantes de automóviles como por ejemplo: Toyota en su modelo Prius. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

Los tiempos de funcionamiento del motor eléctrico (motor) y del motor térmico (engine) se reparten en distinta proporción dependiendo de la configuración del vehículo híbrido. Para verlo más claro tenemos la gráfica inferior donde se ve que en el híbrido "serie" los tiempos de funcionamiento se reparten por igual al 50%, en el

híbrido "paralelo" sin embargo funciona mucho más el motor térmico, en el híbrido "paralelo/serie" funciona más tiempo el motor eléctrico. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

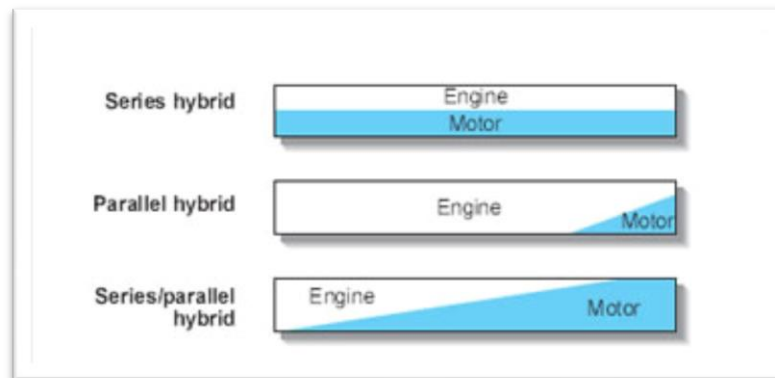


Figura 1.7 Gráfica del ratio de funcionamiento motor eléctrico/motor térmico

Aficionados a la Mecánica ©. (2011). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

1.3. MOTORES

En vehículos convencionales normalmente existen motores de combustión interna que erogán entre los 60 y 180 CV de potencia máxima, la misma que se requiere en situaciones particulares, tales como aceleraciones a fondo, ascensos de grandes pendientes con gran carga del vehículo y a gran velocidad.

Esto quiere decir que la mayor parte del tiempo de operación dicha potencia no sea requerida, dando como resultado un despilfarro de energía, puesto que

sobredimensionar el motor para posteriormente emplearlo a un porcentaje muy pequeño de su capacidad, sitúa el punto de funcionamiento en un lugar donde el rendimiento es bastante malo. Un vehículo medio convencional, si se emplea mayoritariamente en ciudad o en recorridos largos y estacionarios a velocidad moderada, ni siquiera necesitará desarrollar 20 caballos. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

El hecho de desarrollar una potencia muy inferior a la que el motor puede dar supone un despilfarro por dos motivos: por una parte se incurre en gastos de fabricación del motor superiores a lo que requeriría realmente, y por otra, el rendimiento de un motor que pueda dar 100 caballos cuando da sólo 20 es muy inferior al de otro motor de menor potencia máxima funcionando a plena potencia y dando esos mismos 20 caballos. Este segundo factor es el principal responsable de que el consumo urbano de un mismo vehículo equipado con un motor de gran potencia consuma, en recorridos urbanos, muchísimo más que uno del mismo peso equipado con un motor más pequeño. En conclusión, el motor ha de ser el idóneo para el uso al que se destina. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

Otro factor que afecta el rendimiento radicalmente en recorridos urbanos es la forma de detener el vehículo. Ésta detención se realiza mediante un proceso tan ineficiente cómo es disipar y destruir la energía en forma de movimiento, energía cinética, que lleva el vehículo para transformarla en calor liberado inútilmente al ambiente. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

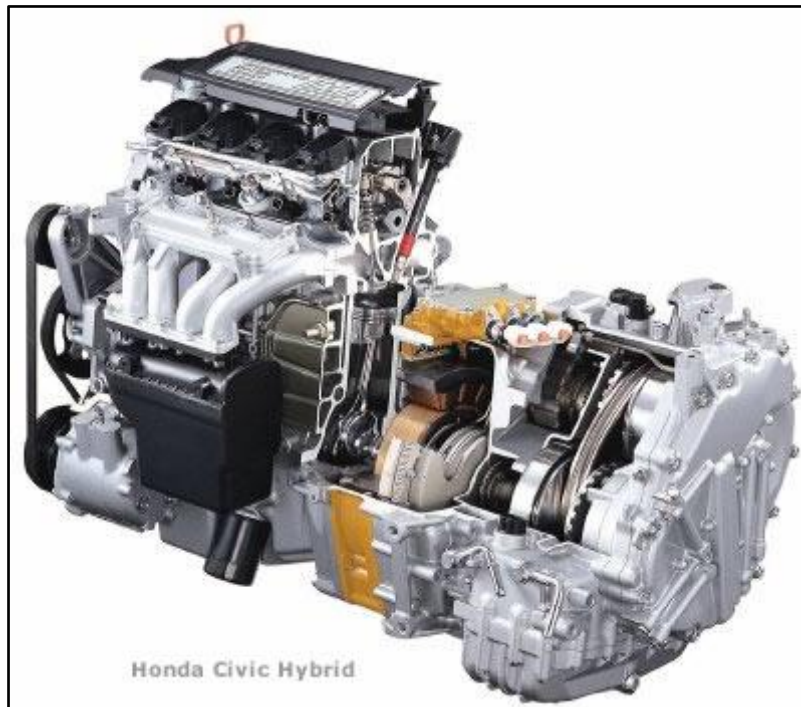


Figura 1.8 Motor Híbrido en corte

Aficionados a la Mecánica ©. (2011). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

Sin embargo, tampoco parece razonable limitar la potencia máxima de un motor en demasía en pro de conseguir excelentes consumos, puesto que en ciertas ocasiones es estrictamente necesario disponer de potencia para determinados esfuerzos tan puntuales como inevitables, tales como adelantamientos y aceleraciones en pendiente. He aquí donde el sistema híbrido toma su mayor interés. Por una parte combina un pequeño motor térmico, suficiente para el uso en la inmensa mayoría de las ocasiones, de buen rendimiento y por tanto bajo consumo y emisiones contaminantes, con un sistema eléctrico capaz de realizar dos funciones vitales. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

El vehículo híbrido aprovecha la energía de una manera óptima y eficiente permitiendo reducir el consumo de combustible fósil y disminuyendo la contaminación considerablemente no obstante es necesario tener a consideración los costos altos de producción de las baterías y el peso de las mismas.



Figura 1.9 Ciclos de funcionamiento

Aficionados a la Mecánica ©. (2011). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

El gran problema actual con el que se encuentra el motor eléctrico para sustituir al térmico en el vehículo es la capacidad de acumulación de energía eléctrica, que es muy baja en comparación con la capacidad de acumulación de energía en forma de combustible. Aproximadamente, 1 kg de baterías puede almacenar la energía equivalente de 18 gramos de combustible, si bien este cálculo

no tiene en cuenta el escaso aprovechamiento energético de esa energía en un motor de combustión, en comparación con un motor eléctrico. Aun así esto supone una barrera tecnológica importante para un motor eléctrico.

Los motores eléctricos han demostrado capacidades de sobra para impulsar otros tipos de máquinas, como trenes y robots de fábricas, puesto que pueden conectarse sin problemas a líneas de corriente de alta potencia. Sin embargo, las capacidades de almacenamiento energético en un vehículo móvil obligan a los diseñadores a usar una complicada cadena energética multidisciplinar, e híbrida, para sustituir a una sencilla y barata cadena energética clásica depósito-motor-ruedas. La electricidad, como moneda de cambio energética, facilita el uso de tecnologías muy diversas, ya que el motor eléctrico consume electricidad, independientemente de la fuente empleada para generarla. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

1.4. MEDIO AMBIENTE

Los vehículos híbridos aportan en la conservación del medio ambiente, puesto que ayudan a reducir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, esto implica que dilata las secuelas del calentamiento global (el derretimiento de los polos por ejemplo), evitando así el aumento del nivel del agua en el mar, lo que a su vez reduce el riesgo de catástrofes naturales (tsunamis, terremotos, inundaciones). ¿Si

se dan cuenta que partiendo de algo tan simple se puede contribuir en tantos aspectos?

Sin embargo, Los “Híbridos” sí causan impacto ambiental; puesto que, aunque estos vehículos tienen un diseño eficiente, si existe un proceso de contaminación durante la producción, uso y desecho de sus baterías. Los vehículos híbridos utilizan baterías recargables de níquel-hidruro metálico (NiMH), cuya vida útil es similar a la del automóvil, es decir, 150 mil millas.

Las baterías NiMH son recargables, por lo que contaminan menos que las desechables, pero contienen níquel, que en grandes cantidades es peligroso. Las minas de níquel liberan dióxido de azufre a la atmósfera, contribuyendo a la lluvia ácida. El daño ambiental neto que causan las baterías NiMH con respecto a las desechables es menor en tan solo 20%, ya que el mayor impacto ambiental de una batería, sin importar su tipo, se produce durante la producción. Al transportar y procesar el níquel se libera dióxido de azufre; esto reduce de manera significativa el aporte que hacen los autos híbridos a contrarrestar la emisión de gases de efecto invernadero.

El reciclaje de baterías recargables es actualmente bajo, pero se estima que del total de baterías NiMH se podría reciclar hasta un 95%; además, esto sería un gran negocio, puesto que las demandas de níquel son elevadas. Como resultado final, el uso de baterías NiMH en vez de baterías desechables representa un beneficio neto de 18% a la salud humana, 13% a la calidad de los ecosistemas y 4% a los recursos naturales.

Con esta información, podemos considerar que los autos híbridos son una “tecnología en transición”. Son el primer paso al nacimiento de los verdaderos automóviles del futuro. El reto está en la búsqueda de nuevas tecnologías para hacer de los vehículos productos verdaderamente sustentables, es decir, investigar para la producción de baterías más eficientes y, por otro lado, para generar combustibles más limpios: aire comprimido, biocombustibles, celdas de hidrógeno o energía solar. De esta manera, los vehículos tendrán un mínimo de impacto ambiental, desde su producción hasta la disposición final de sus componentes; sus motores serán 100% eficientes, con suministro eléctrico, alimentado por celdas de combustible y con emisiones nulas de gases a la atmósfera. (Toyota Technical Training, 2006)

CAPITULO 2

SISTEMA HIBRIDO FUNCIONAMIENTO

2.1. MOTOR TERMICO

El motor de combustión interna funciona opera con un "ciclo Atkinson", ideado por el ingeniero inglés James Atkinson (1887) y también conocido como quinto tiempo: admisión, reflujo de gases, compresión, expansión y escape.

Este motor tiene la particularidad de llegar a trabajar con altas relaciones de compresión, como es el del caso Toyota Prius con una relación 13:1, lo que le permite maximizar la eficiencia de combustible y aumentar el rendimiento. Este ciclo retrasa el cierre de la válvula de admisión al iniciar el tiempo de compresión lo que ocasiona un reflujo de gases al colector de admisión mientras el pistón asciende para que esta mezcla sea aprovechada en el siguiente tiempo de admisión. La menor cantidad de mezcla en el tiempo de compresión reduce las prestaciones sin embargo permite utilizar relaciones de compresión altas sin que se produzca detonación para lograr un eficiente aprovechamiento de la energía liberada en la combustión en el tiempo de expansión.

Todo esto es posible gracias al sistema de sincronización de válvulas variable de Toyota denominado VVT-i, el cual es el encargado de adelantar o retrasar los tiempos de apertura o cierre de válvulas para obtener un óptimo rendimiento termodinámico.

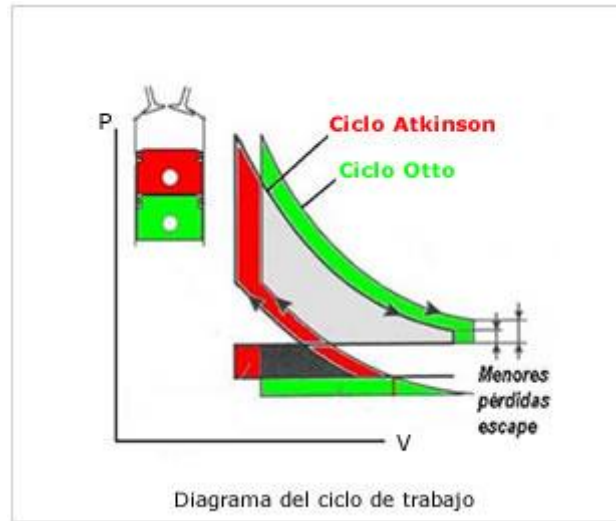


Figura 2. 1 Ciclo Atkinson

Aficionados a la Mecánica ©. (2011). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

El sistema VVT-i puede cerrar la válvula de admisión entre 78° y 105° después del punto muerto inferior. Es decir, en función de las condiciones de funcionamiento, es posible que no cierre las válvulas de admisión hasta después de llevar media carrera ascendente.

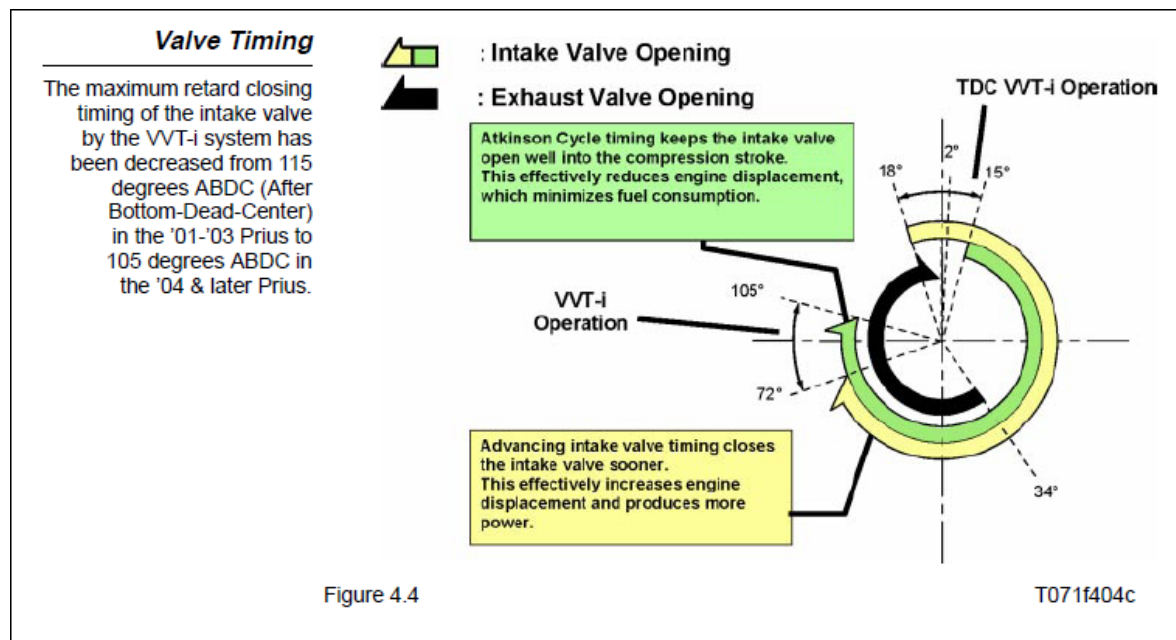


Figura 2. 2 Sincronización de válvulas

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

2.2. TRANSMISION

Toyota denomina a la transmisión utilizada en el Prius como "Power Split Device". Esta transmisión no tiene una caja de cambios convencional con distintos engranajes, ni una caja automática de variador continuo con correa. Este vehículo dispone de un "engranaje planetario" para transmitir el movimiento a las ruedas. No tener una caja de cambio normal aporta ventajas notables y especialmente necesarias en un coche como éste: menos peso, más espacio y menos pérdidas por rozamiento. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

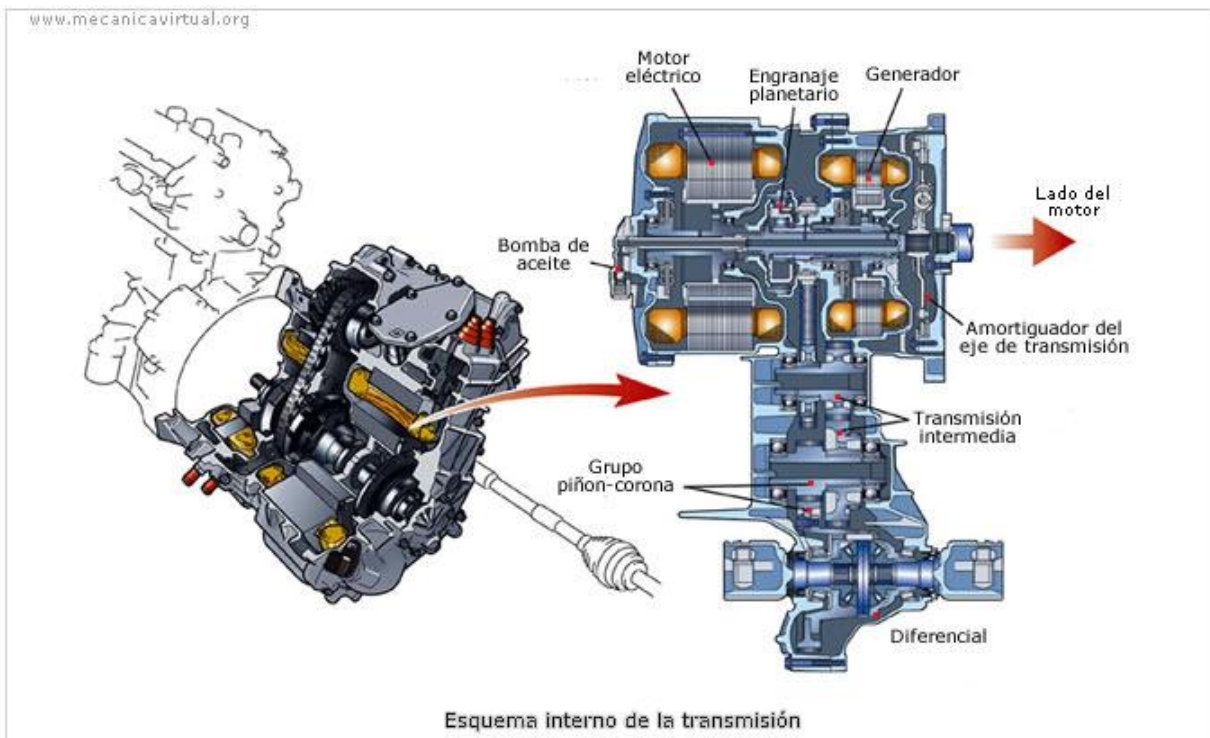


Figura 2. 3 Transmisión híbrida en corte

Aficionados a la Mecánica ©. (2011). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

Dado que el motor funciona siempre casi a plena carga y con un margen de revoluciones no muy amplio, hacía falta algo para que (en esas condiciones) valiera igual para arrancar en marcha lenta y para ir a gran velocidad. Ese algo es el engranaje planetario, que tiene tres elementos: un planeta o engranaje central; unos satélites que giran alrededor de él; y una corona con un dentado interior a la cual también están engranados los satélites.

El engranaje planetario utilizado en esta transmisión une cada uno de sus componentes:

- Engranaje central o "planetario" está unido al generador eléctrico.
- El portasatélites está unido al motor térmico.
- La corona esta unida al motor eléctrico.

(Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

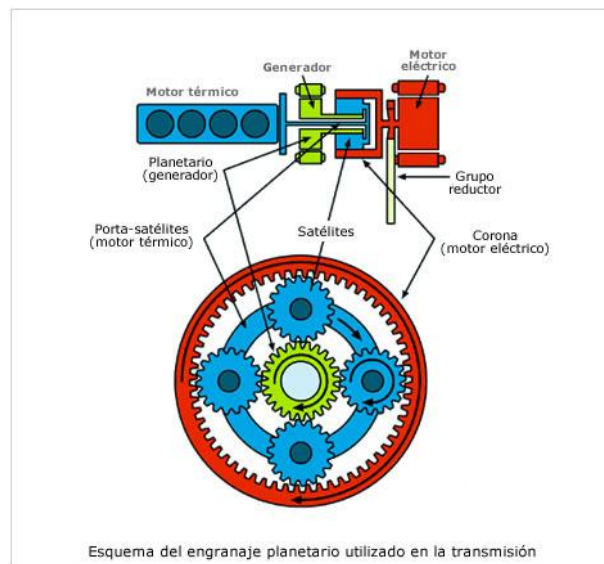


Figura 2. 4 Estructura sistema planetario

Aficionados a la Mecánica ©. (2011). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

2.3. BATERIAS

Es uno de los elementos vitales del sistema híbrido del Prius, se construye en base de níquel metal, posee una carga nominal de 201.6 voltios DC y se encuentra ubicada en la parte posterior del auto o debajo del asiento posterior.

Fabricadas por Panasonic tiene 6,5 Ah de capacidad (3 horas), pesa 42 kg y tiene la densidad de energía más alta del mundo entre las baterías de su tamaño.

Esta batería sólo se recarga con el generador, al que impulsa el motor térmico. No tiene ningún tipo de conexión para conectarla a una red o a otro dispositivo de carga. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

El conjunto se compone de 14 pequeños paquetes de baterías en serie cada uno con un voltaje entre 14 y 15. En cada uno de estos paquetes estos paquetes no son más que baterías 7v colocadas en serie.

Estas baterías son controladas el módulo HV, el cual recibe información de los sensores de temperatura y el sensor de corriente. A un costado de las baterías se encuentra ubicada la caja de relés HV, accionados directamente por el módulo PCM, habilitando o a su vez restringiendo la circulación de alta tensión a los componentes.

Adicionalmente el conjunto de baterías está equipado con un sistema de enfriamiento mediante un soplador de aire accionado por el módulo HV con modulación de ancho de pulso (PWM), de esta se evita el sobrecalentamiento de las baterías, teniendo en consideración que el sistema no permite que las baterías excedan los 50 grados centígrados.

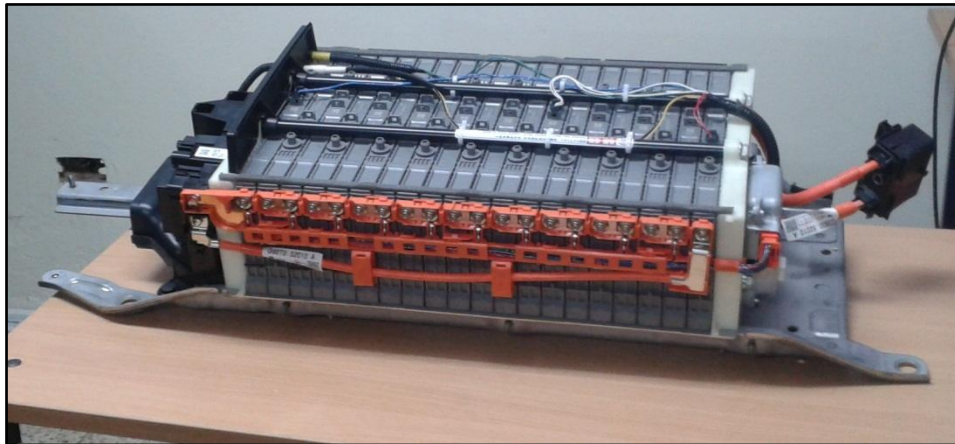


Figura 2. 5 Batería Toyota Prius C

Acosta, José. (2013)

La batería no tiene efecto memoria porque el sistema eléctrico está hecho para que nunca baje de un cierto nivel de carga, mientras el coche está funcionando. Cuando el coche queda parado y desconectado, el proceso de descarga es muy lento. No está prevista su sustitución en el programa de mantenimiento y, como todos los elementos del sistema híbrido, tiene ocho años de garantía.

Está conectada a un elemento que convierte los 202 V de corriente continua en 500 de corriente alterna. Este dispositivo también invierte la corriente eléctrica cuando hay que cargar la batería (bien con el generador, o bien con el motor eléctrico).

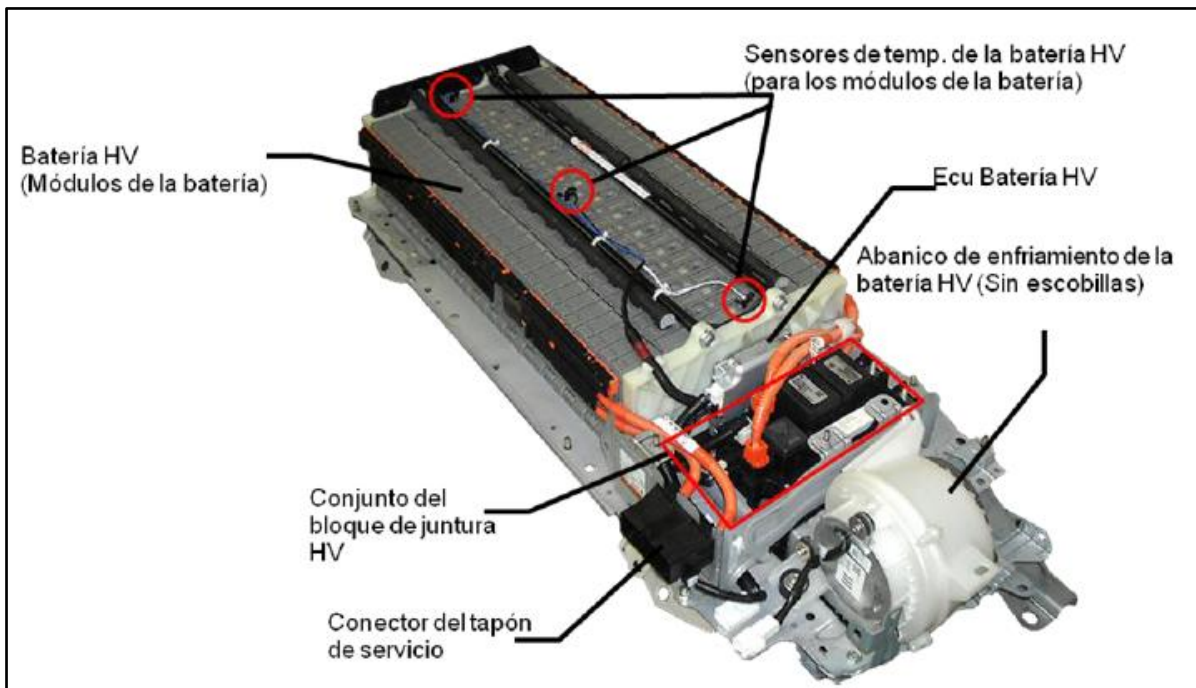


Figura 2. 6 Disposición de los componentes principales de la batería

Electronics, Cise. (2013)

2.3.1. Sistema de enfriamiento de la batería HV

Para asegurar el rendimiento adecuado de la batería HV mientras genera calor durante los ciclos repetitivos de carga y descarga, se ha adoptado un sistema de enfriamiento exclusivo para la batería HV. Se incorpora un ventilador de enfriamiento en el lado derecho del portaequipajes, con el fin de aspirar el aire de la cabina mediante la entrada de aire situada en el lado derecho del asiento trasero. De este modo, el aire de entrada que se introduce por la parte superior derecha de la batería circula entre los módulos de la batería desde la parte superior a la inferior para

enfriarlos. Entonces, el aire circula por el conducto de escape y la cabina, para descargarse al exterior del vehículo. (Toyota Technical Training, 2006)

La ECU de la batería controla la operación del ventilador de enfriamiento. La ECU de la batería controla la temperatura de la batería HV a un nivel apropiado de acuerdo con las señales proporcionadas por los sensores de la temperatura de la batería que están incorporados en la batería HV, y un sensor de la temperatura del aire de entrada. (Toyota Technical Training, 2006)



Figura 2. 7 Soplador de aire baterias

Acosta, José. (2013)

El conjunto de baterías de alta tensión posee un jumper o clavija de seguridad la cual es la encargada de cortar la alta tensión ya sea para inspección o servicio, esta provista de un interruptor de cable para el interbloqueo, que al levantar el retenedor de bloqueo se desconecta quedando en una posición intermedia con lo que se corta el SMR.

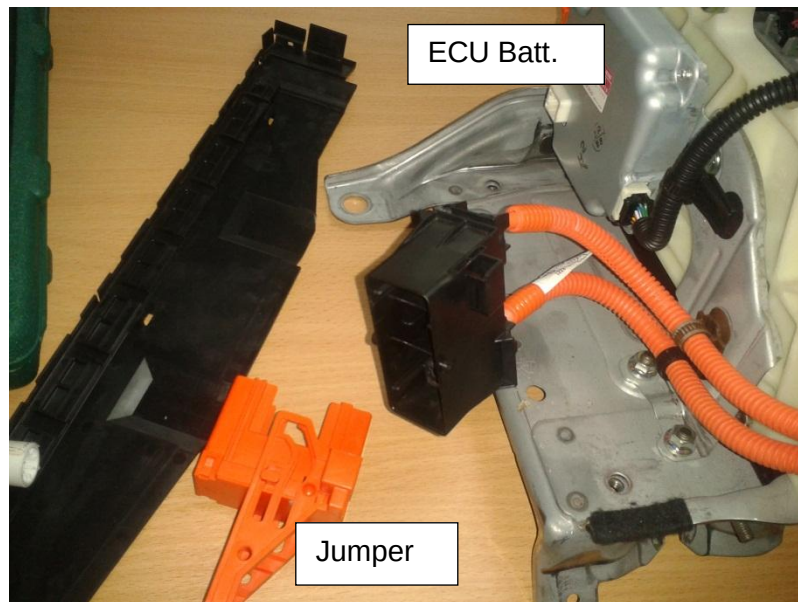


Figura 2. 8 Clavija de seguridad baterías HV

Acosta, José. (2013)

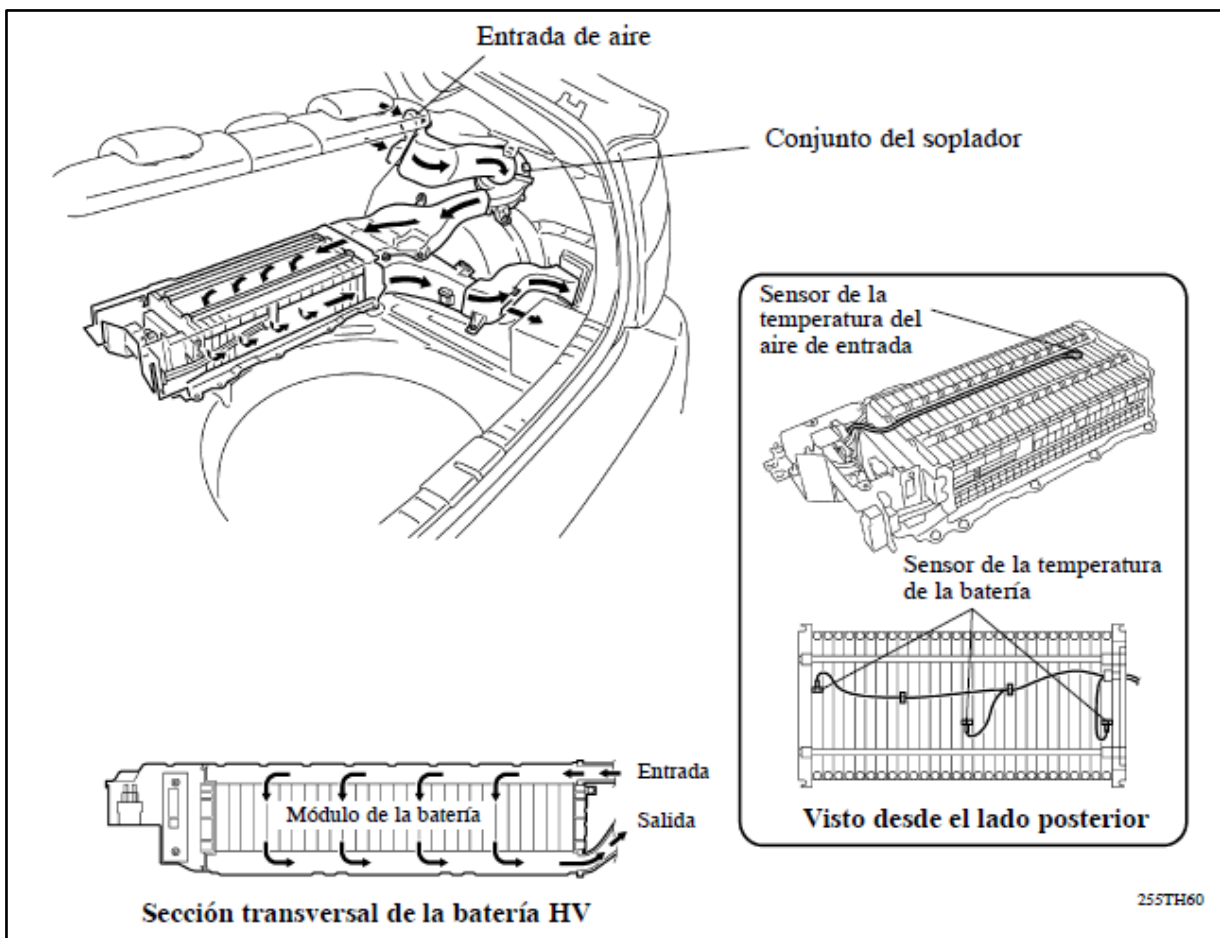


Figura 2. 9 Disposición de los componentes sistema enfriamiento batería HV

(Toyota Technical Training, 2006)

2.3.2. Módulo de la batería HV

La ECU de la batería proporciona las siguientes funciones:

- Monitorea el amperaje de carga / descarga, carga de salida.
- Gestiona la cantidad de calor generado durante la carga y descarga, ajusta el ventilador de refrigeración para mantener la temperatura de la batería HV

- Controla la temperatura y el voltaje de la batería y si se detecta un mal funcionamiento, puede limitar o detener la carga y descarga para proteger la batería de alto voltaje.

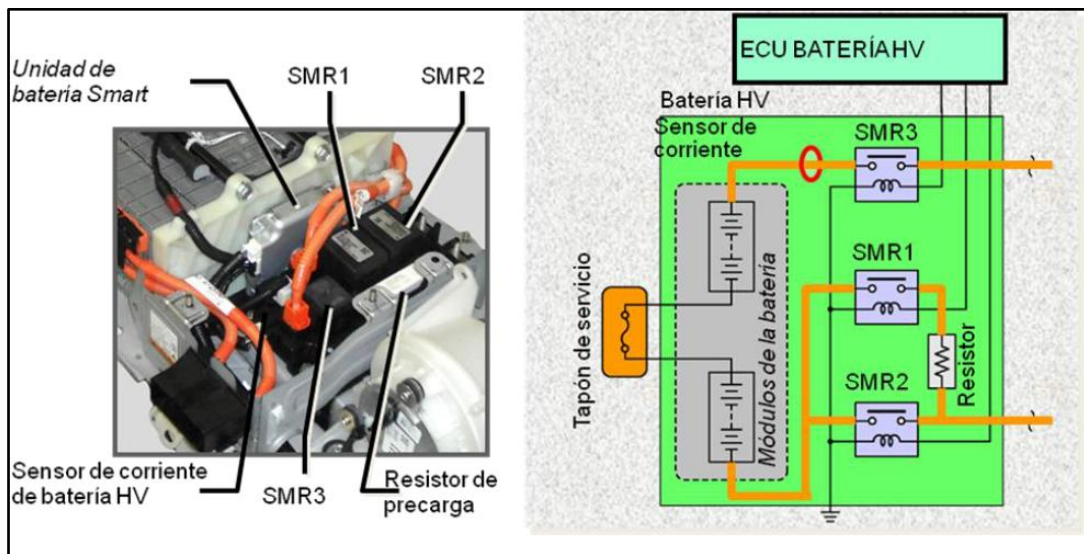


Figura 2. 10 Modulo electrónico de la batería HV

Electronics, Cise. (2013)

2.3.3. Batería auxiliar

El Toyota Prius emplea una batería auxiliar de 12V similar a la de un vehículo convencional la misma que se encarga de abastecer a elementos del sistema eléctrico del vehículo que siguen operando con 12V.

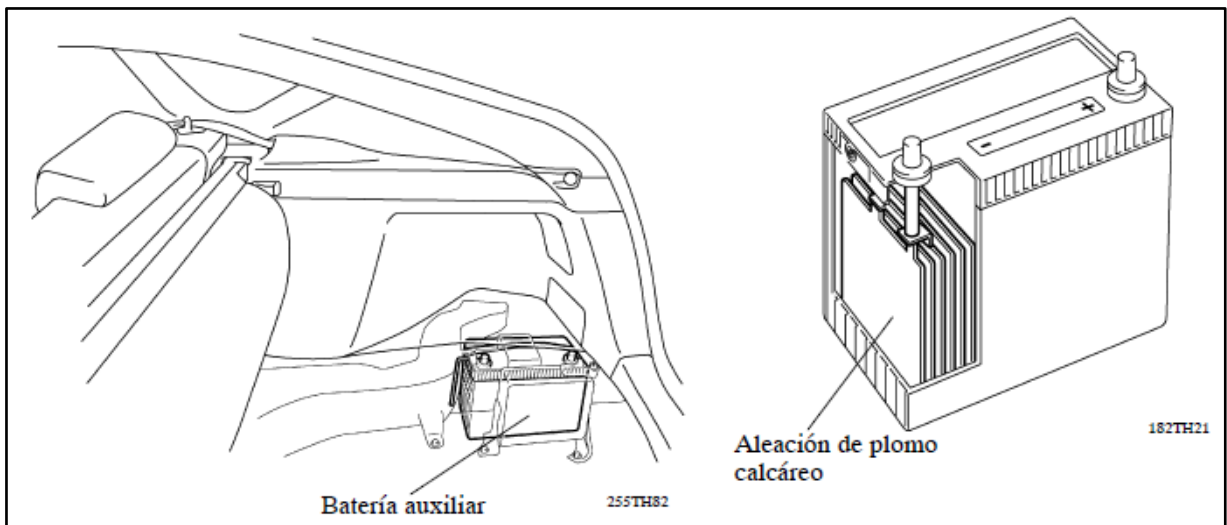


Figura 2. 11 Disposición de la batería auxiliar

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

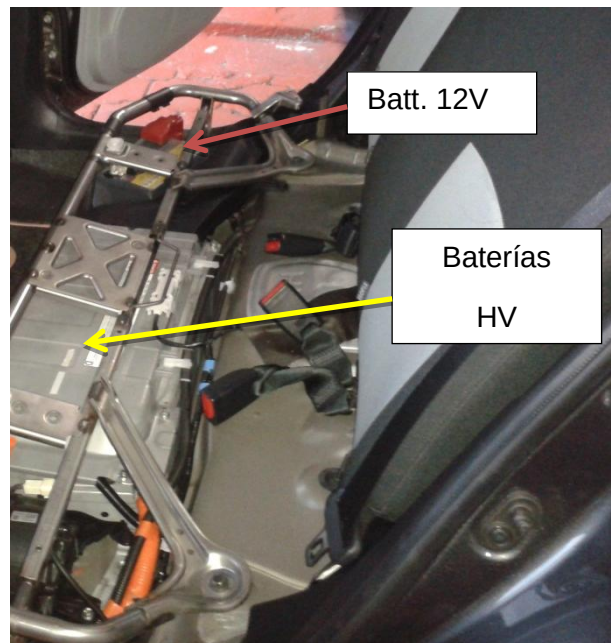


Figura 2. 12 Batería Auxiliar Prius C

Acosta, José. (2013)

2.4. GENERADORES

Tanto MG1 y MG2 actúan en modo de generación según el requerimientos, puede ser: carga de baterías, modo de conducción lo cual controla la ECU HV.

Generador es el elemento que transforma en electricidad el trabajo del motor térmico o la energía cinética del vehículo en un descenso de colina donde actúan los frenos regenerativos que no es más que MG2 en modo generador; en el caso del MG1 aparte de funcionar como motor de arranque del motor térmico también tiene etapas de generación como es: una velocidad crucero baja o aceleración ligera..

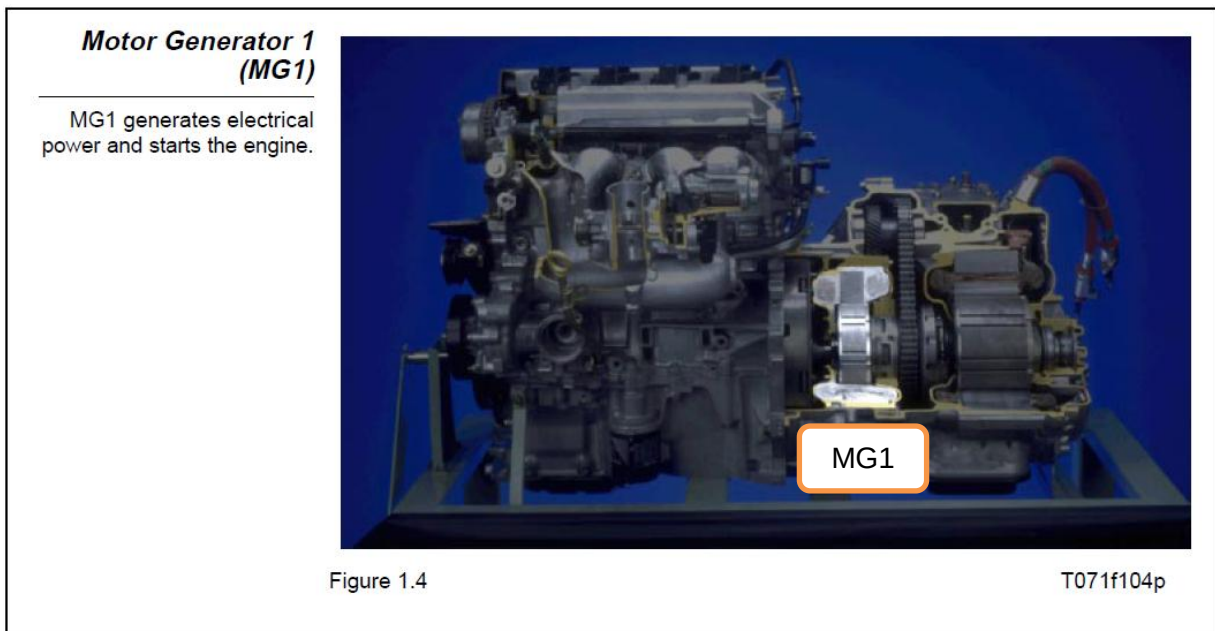


Figura 2. 13 Motogenerador 1

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

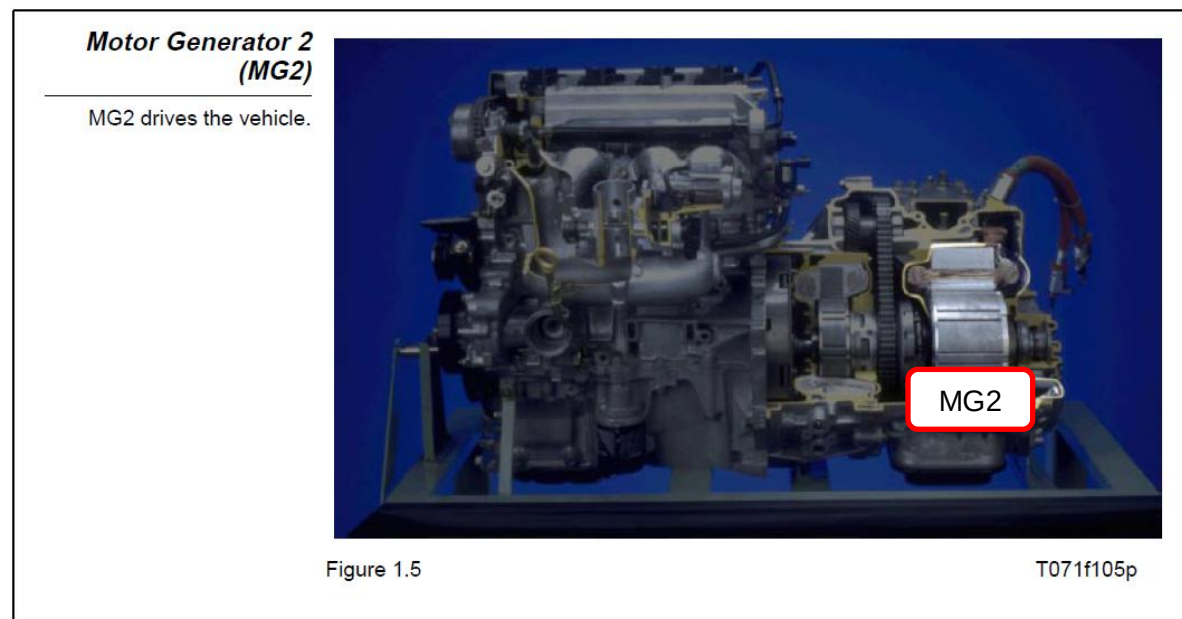


Figura 2. 14 Motogenerador 2

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

Tabla 2.1 Especificaciones MG1 – MG2

MG1 Specifications		'04 Model
Item		
Type		Permanent Magnet Motor
Function		Generate, Engine Starter
Maximum Voltage	[V]	AC 500
Cooling System		Water-cooled
MG2 Specifications		'04 Model
Item		
Type		Permanent Magnet Motor
Function		Generate, Engine Starter
Maximum Voltage	[V]	AC 500
Maximum Output	kW (PS) / rpm	50 (68) / 1,200 ~ 1,540
Maximum Torque	N•m (kgf•m) / rpm	400 (40.8) / 0 ~ 1,200
Cooling System		Water-cooled

2.5. MOTOGENERADORES (MG1 Y MG2)

El Toyota Prius está provisto de dos motores: MG1 (Motor Generador 1) y MG2 (Motor Generador) son del tipo sincrónico de imán permanente altamente eficientes a la hora de alternar la corriente, compactos y de poco peso.

Son motores trifásicos de frecuencia constante y desfase variable lo que permite conseguir la rotación del motor, la ECU HV es la encargada de controlar los motogeneradores disparando los transistores de potencia IGBT para que estos entren en operación.

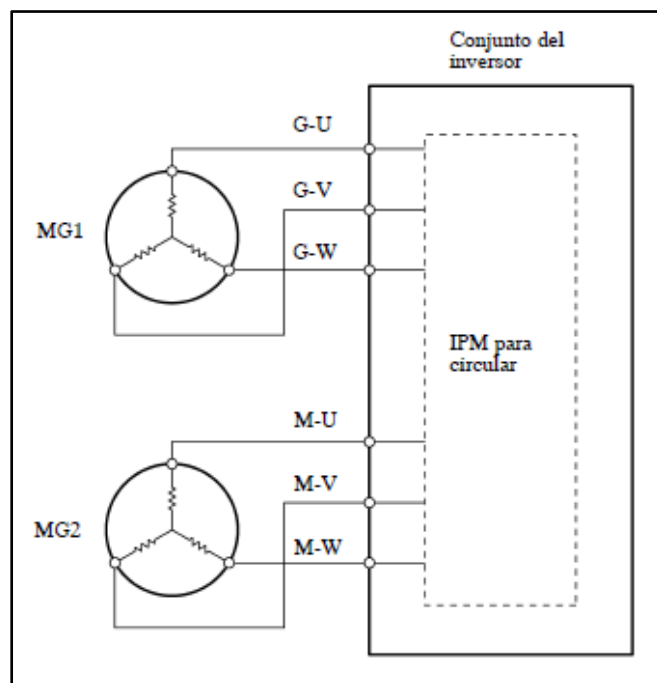


Figura 2. 15 Diagrama del sistema

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

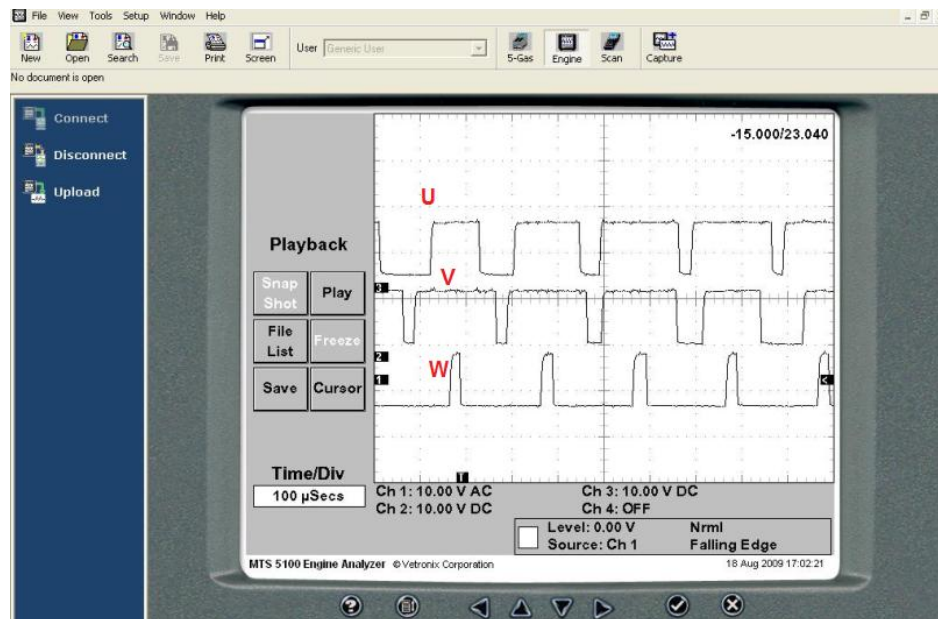


Figura 2. 16 MG1 en ignición

Electronics, Cise. (2013)

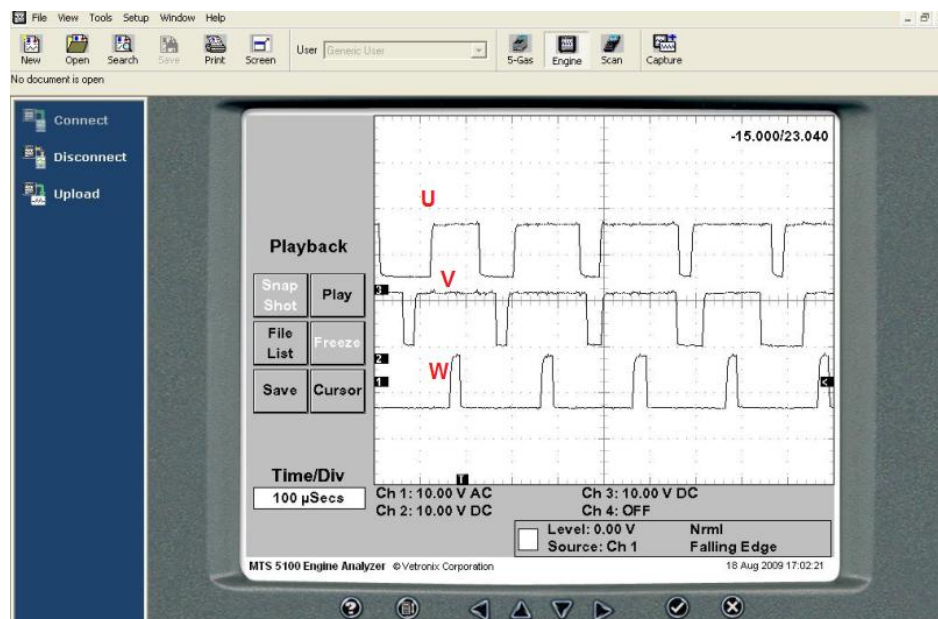


Figura 2. 17 Inicio operación MG1 se observa el desfase

Electronics, Cise. (2013)

MG1 recarga la batería HV como generador, suministra alimentación eléctrica para excitar el MG2 y sirve de motor de arranque para dar el giro inicial a ICE (motor a gasolina). Además, regula la cantidad de energía eléctrica generada (variando las rpm del generador), el MG1 controla eficazmente la función de transmisión continuamente variable del transeje.

MG2 está engranado directamente a la transmisión, trabaja conjuntamente con ICE (motor a gasolina) para poder impulsar las ruedas. Cuando se activan los frenos regenerativos, el MG2 convierte la energía cinética del vehículo a energía eléctrica, que se almacena en la batería de la HV.

Los dos motogeneradores tienden alcanzar altas temperaturas en su operación, razón por la cual la temperatura es monitoreada y están provistos de conductos de enfriamiento por agua y refrigerante para evitar el sobrecalentamiento.

Tabla 2. 2 Condiciones de funcionamiento Motogeneradores y MCI

CONDICION	MG1	MG2	MCI	SMG1	SMG2	CP1	CN1
Vehic. Det. MCI marcha	GENERADOR	OFF	MOTOR	OFF	OFF	PLS	OFF
Vehic. Mov. MCI Off (electr.)	OFF	MOTOR	OFF	OFF	PLS	OFF	PLS
Vehic. Mov. Arranca MCI	MOTOR	MOTOR	MOTOR	PLS	PLS	OFF	PLS
Vehic. Mov, MCI Funcionando (No elect.)	GENERADOR	OFF	MOTOR	OFF	OFF	PLS	OFF
Vehic. Mov. Aceler. Suave	GENERADOR	MOTOR	MOTOR	OFF	PLS	PLS	OFF
Vehic. Aceleración fuerte	MOTOR	MOTOR	MOTOR	PLS	PLS	OFF	PLS
Freno regenerativo	MOTOR	GENERADOR	OFF	OFF	OFF	PLS	OFF

Reversa	OFF	MOTOR	OFF	OFF	PLS	PLS	OFF
Reversa con Bat. Baja	GENERADOR	OFF	MOTOR	OFF	OFF	PLS	OFF

Fuente: (Cise Electronics Corp, 2013)

En la tabla superior podemos observar las distintas condiciones de operación del vehículo, cuando entran en operación los motogeneradores (MG1-MG2) y el motor de combustión interna (MCI). Al igual las señales SMG1 y SMG2 que comandan el modulo hibrido para este que envíe pulsos a los transistores de potencia IGBT de cada uno de los motogeneradores. También podemos ver las señales CP1 y CN1 las cuales actúan independientemente para hacer funcionar los motogeneradores en modo: motor eléctrico o generador dependiendo de los requerimientos.

En el interior del IPM (Intelligent Power Module o Modulo inteligente de poder) se encuentran los pines CP1 y CN1, son los encargados de manejar los pulsos para funcionamiento de los transistores IGBT que están al inicio como se puede apreciar en el grafico, de esta forma determina que si tengo pulso en CP1 estaria funcionando el sistema como generador ya que el transistor haría el paso de corriente paralelo al diodo D1 pero si por el contrario tengo pulso en CN1, estaría alimentando la base del trnasistor IGBT 2 con lo que conseguiría cargar la bobina reactiva y descargarla al quitar el pulso , con esto estaría elevando el voltaje que llega a los IGBT que comandado sus pulsos convertirían este voltaje ya elevado en Voltaje alterno trifásico. (Cise Electronics Corp, 2013)

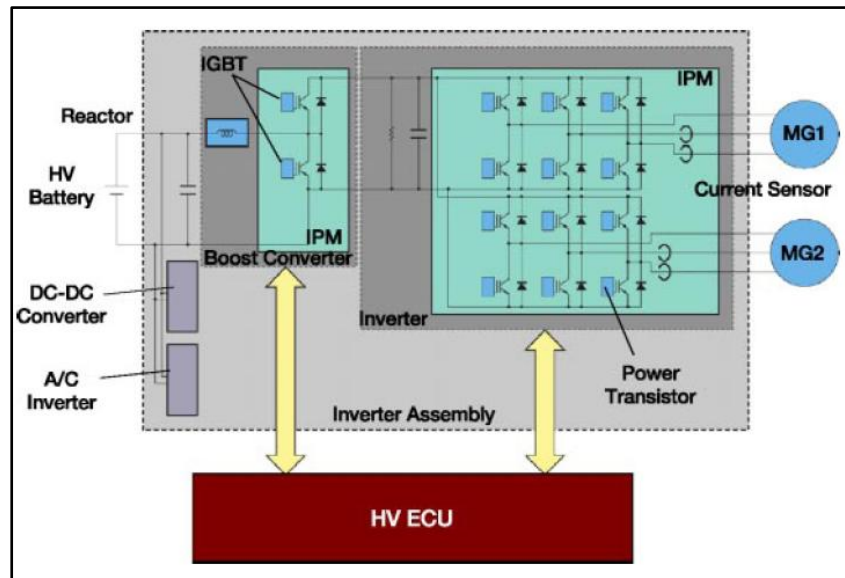


Figura 2. 18 Diagrama IPM

(Cise Electronics Corp, 2013)

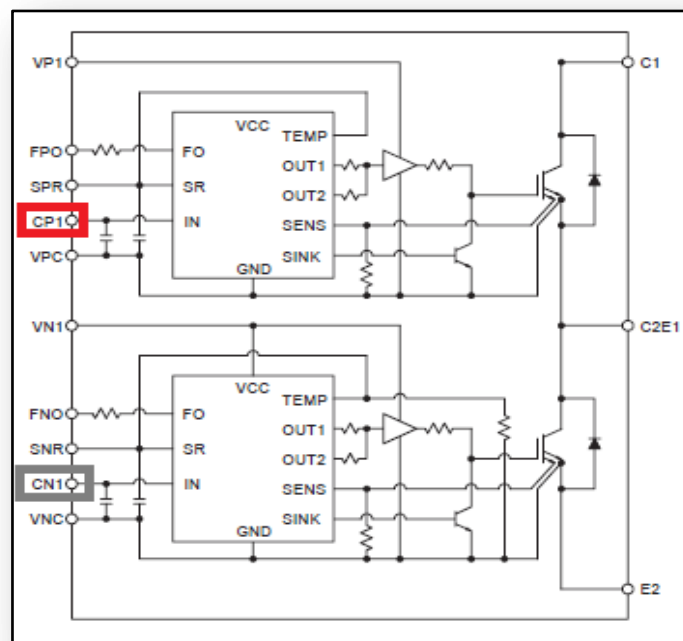


Figura 2. 19 Señales CP1 y CN1

(Cise Electronics Corp, 2013)

2.5.1. Motor de imán permanente

Cuando la corriente alterna trifásica pasa a través de los devanados trifásicos de la bobina del estator, se crea un campo magnético giratorio en el motor eléctrico. Controlando este campo magnético giratorio de acuerdo a la posición y velocidad de giro del rotor, los imanes permanentes que se encuentran en el rotor son atraídos por el campo magnético de la rotación, generando par. (Toyota Technical Training, 2006)

El par generado es para todos los propósitos prácticos proporcional a la cantidad de corriente, y la velocidad de rotación es controlada por la frecuencia de la corriente alterna. Además, un alto nivel de par, hasta las velocidades altas, puede generarse de forma eficiente controlando de la forma adecuada el campo magnético de rotación y los ángulos de los imanes del rotor. (Toyota Technical Training, 2006)

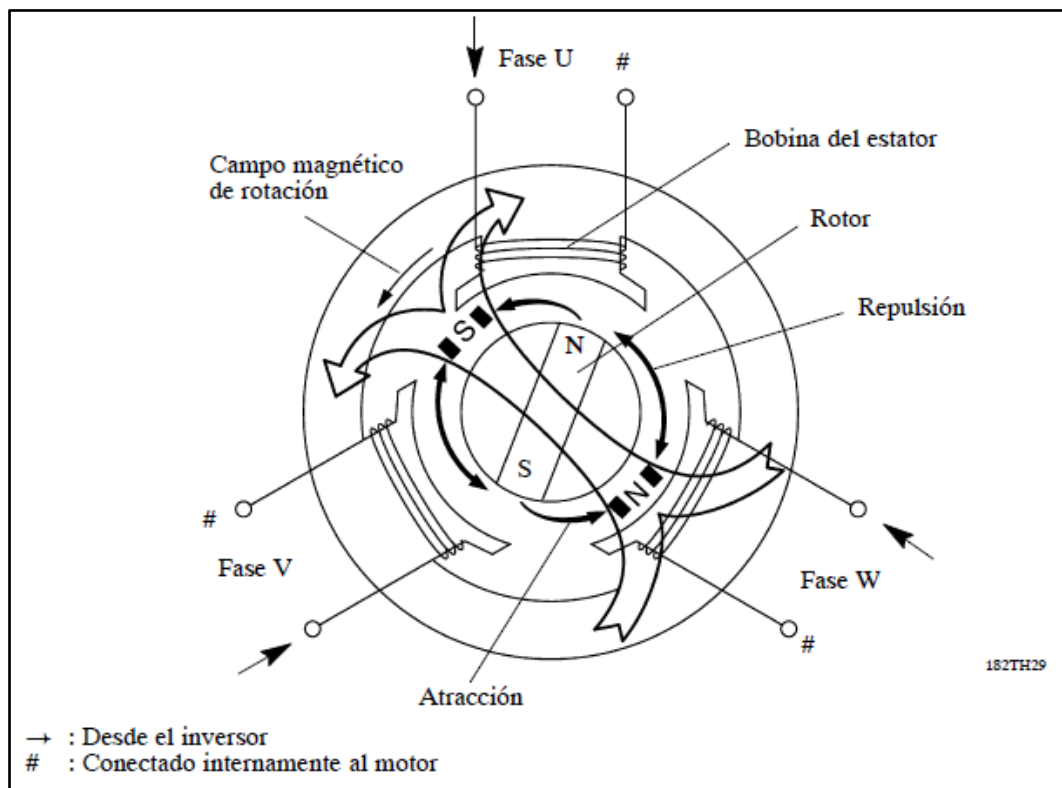


Figura 2. 20 Estructura interna del motor eléctrico

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

2.5.2. Sensor de velocidad / separador

Es un sensor compacto y altamente fiable que detecta con precisión la posición del polo magnético, indispensable para asegurar el control eficiente del MG1 y el MG2.

El estator del sensor contiene 3 bobinas como se muestra en la ilustración, y las bobinas de salida B y C están alternadas eléctricamente en 90 grados. Puesto

que el rotor es oval, la distancia del huelgo entre el estator y el rotor varía con la rotación del rotor. Por lo tanto, mediante el paso de la corriente alterna a través de la bobina A, la salida que corresponde a la posición del rotor del sensor es generada por las bobinas B y C. La posición absoluta puede detectarse gracias a la diferencia entre estas salidas. (Toyota Technical Training, 2006)

Adicionalmente, la cantidad de variación de la posición dentro de un tiempo predeterminado es calculada por la ECU de HV, permitiendo usar este sensor como un sensor de rpm. (Toyota Technical Training, 2006)

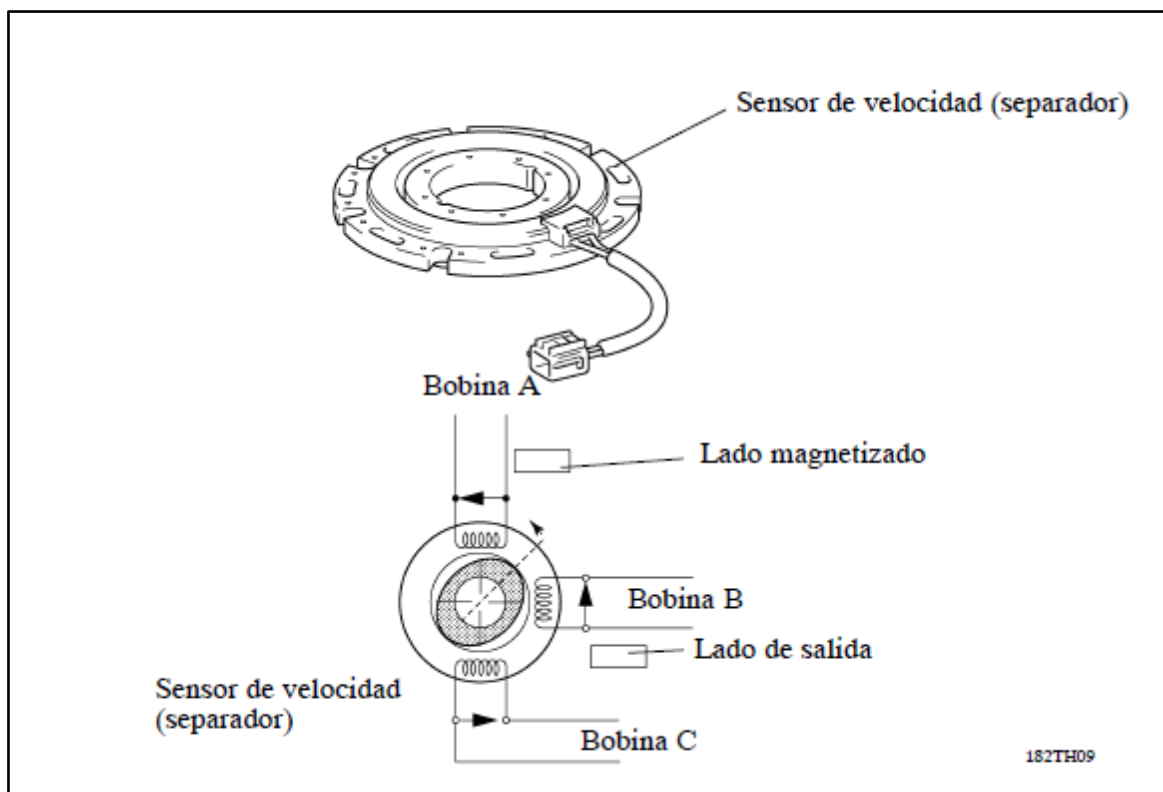


Figura 2. 21 Estructura del sensor de posición del polo magnético

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

2.6. INVERSOR

El inversor es un componente vital en el sistema híbrido encargado de gestionar el flujo de electricidad y transformarla según los requerimientos. Eleva la tensión proveniente de las baterías HV a 550VDC para luego mediante el módulo IPM, el cual se aloja en su interior transformarla a corriente alterna trifásica y puedan operar los motogeneradores. Entre otras funciones carga la batería auxiliar de 12 V y activa el compresor del aire acondicionado.

El inversor se encarga de las siguientes funciones:

- Convierte los 201,6 V DC (corriente continua) que entrega la batería HV en 201,6 V AC trifásica (corriente alterna). Multiplica estos 201,6 V AC trifásica hasta un máximo de 550 V AC trifásica. al motor y al generador eléctricos del THSD.
- Convierte los 201,6 V DC en 201,6 V AC para el compresor eléctrico del aire acondicionado.
- Convierte los 201,6 V DC en 12V DC y 100 A. para recargar la batería de 12V, dada la ausencia de alternador y alimentar a los demás elemento eléctricos del vehículo (luces, audio, ventiladores, etc.).
- Gestiona la activación de los transistores de potencia es controlada por la ECU de HV. Además, el inversor transmite la información necesaria para controlar la corriente, tal como el amperaje de salida o la tensión hacia la ECU de HV.

El inversor junto con el MG1 y el MG2 son enfriados por el radiador exclusivo del sistema de refrigerante que está separado del que hay para el motor de gasolina. La unidad de control HV es la que se encarga de controlar la bomba eléctrica de agua. En las versiones del Prius del "04" y posteriores el radiador ha sido simplificado y el espacio que ocupa ha sido minimizado.

En caso de una colisión en la que el vehículo se ve implicado, el sensor del disyuntor del circuito, que está instalado en el inversor, detecta una señal de colisión para detener el sistema.



Figura 2. 22 Inversor Prius C sport

Acosta, José. (2013)

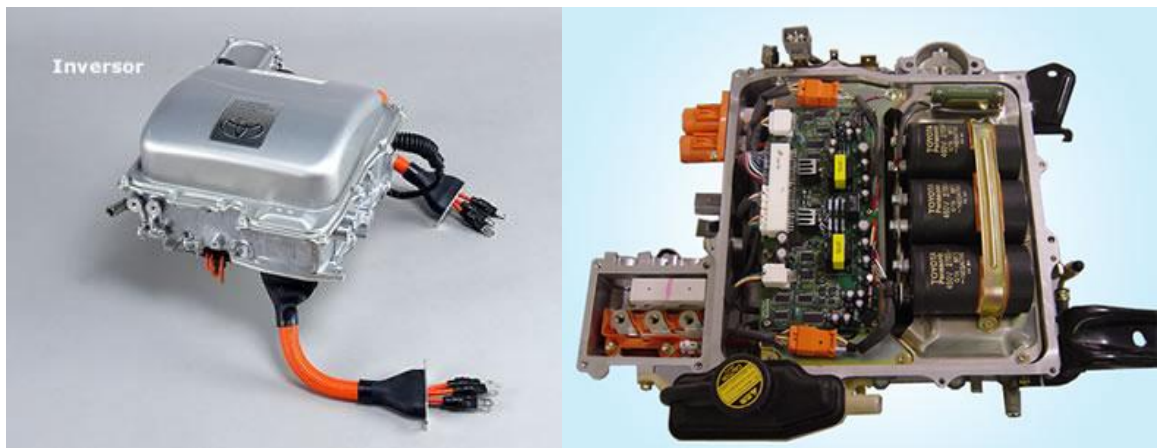


Figura 2. 23 Inversor estructura interna

(Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

En el siguiente diagrama se puede observar la configuración interna del inversor, el cual está provisto de la bobina redactora o Booster, encargada de elevar la tensión para los motogeneradores, también se puede apreciar el conjunto de los transistores de potencia IGBT los cuales son controlados por la ECU híbrida y finalmente los convertidores corriente. La configuración de los transistores de potencia varia de acuerdo a la ECU híbrida la misma que de acuerdo a las condiciones o modos de operación determina el funcionamiento de los motogeneradores ya sea como: motor o generador.

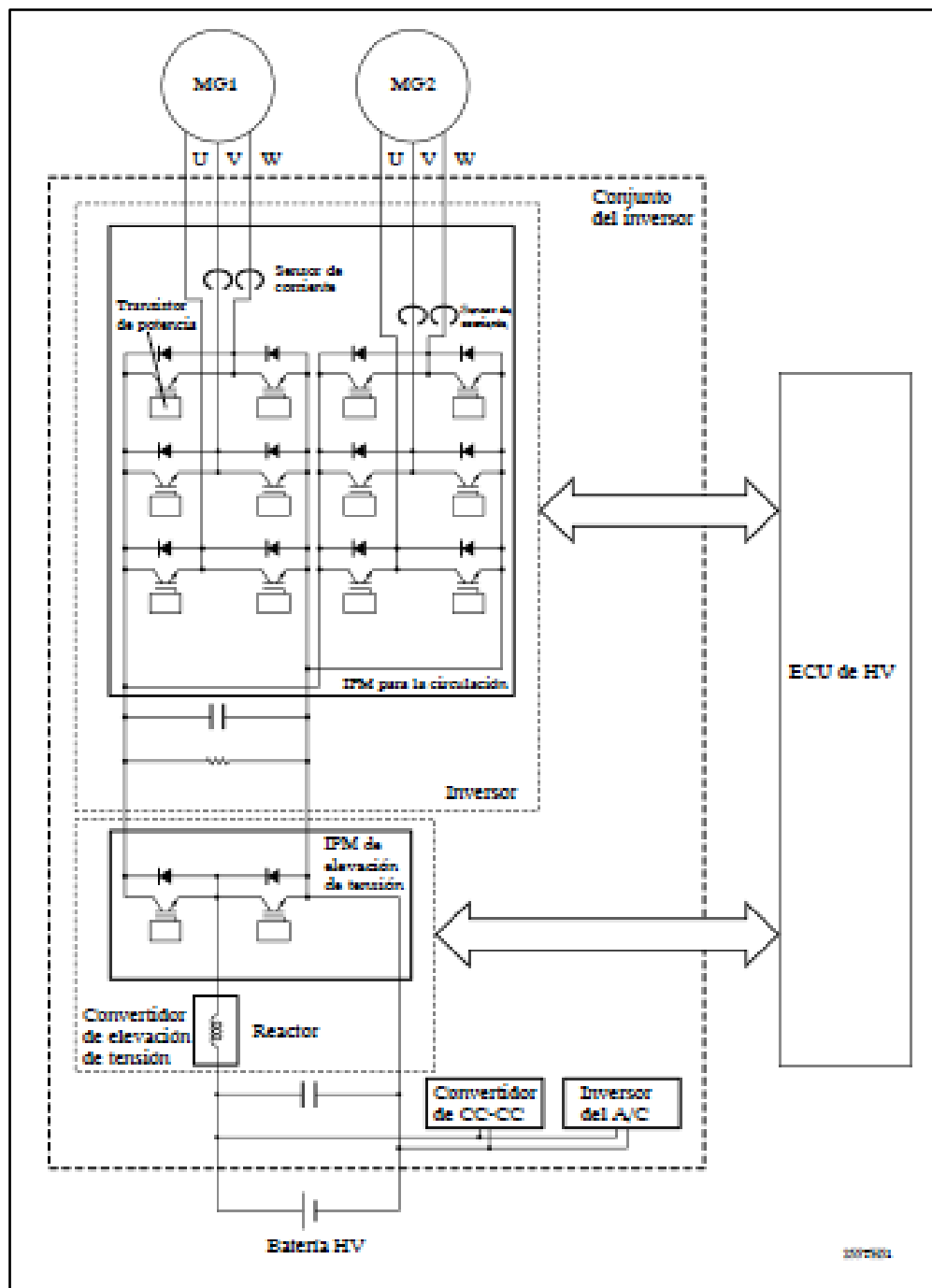


Figura 2.1 Diagrama del sistema

(Toyota Technical Training, 2006)

2.6.1 Convertidor de elevación de tensión

Este convertidor de elevación de tensión eleva la tensión nominal de 201,6 V CC, que sale de la batería HV, a la tensión máxima de 500 V CC. El convertidor consta del IPM (Integrated Power Module – módulo de alimentación integrado) de elevación de tensión con un IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor – transistor bipolar de compuerta aislada) incorporado que efectúa el control de conmutación, y el reactor que almacena la energía. Empleando estos componentes, el convertidor eleva la tensión. (Toyota Technical Training, 2006)

Cuando MG1 o MG2 actúa como el generador, el inversor convierte la corriente alterna (margen de 201,6 a 500V) generada por uno de ellos a corriente continua, y luego el convertidor de elevación de tensión la reduce a 201,6V CC, y de este modo se carga la batería HV. (Toyota Technical Training, 2006)

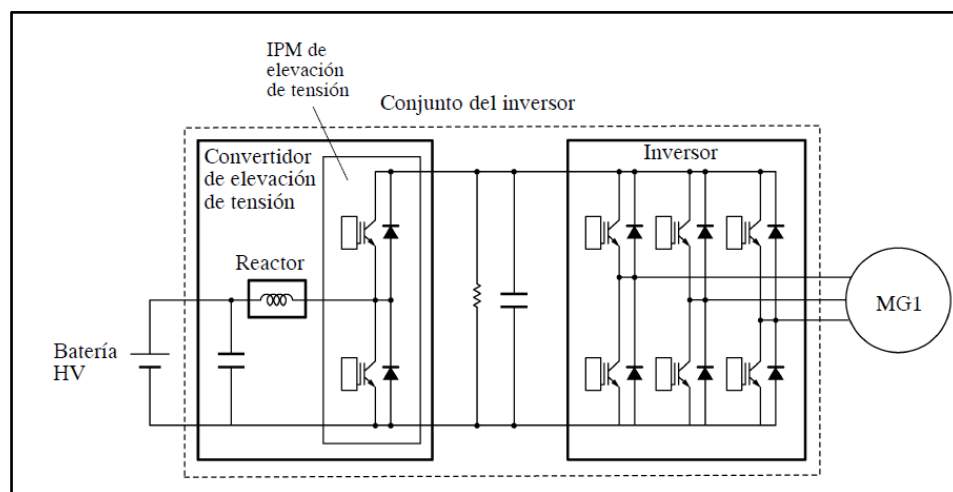


Figura 2.2 Diagrama del sistema de elevación de tensión

(Toyota Technical Training, 2006)

2.6.2. Convertidor de CC/CC

La fuente de alimentación del equipo auxiliar del vehículo, como son las luces, sistema de audio y sistema de aire acondicionado (con excepción del compresor del A/C), así como las ECU, se basa en un sistema de 12 V CC. Puesto que el generador del THS-II emite una tensión nominal de 201,6 V CC, el convertidor se usa para transformar la tensión desde 201,6 V CC a 12 V CC para recargar la batería auxiliar. El convertidor está instalado en la parte inferior del inversor. (Toyota Technical Training, 2006)

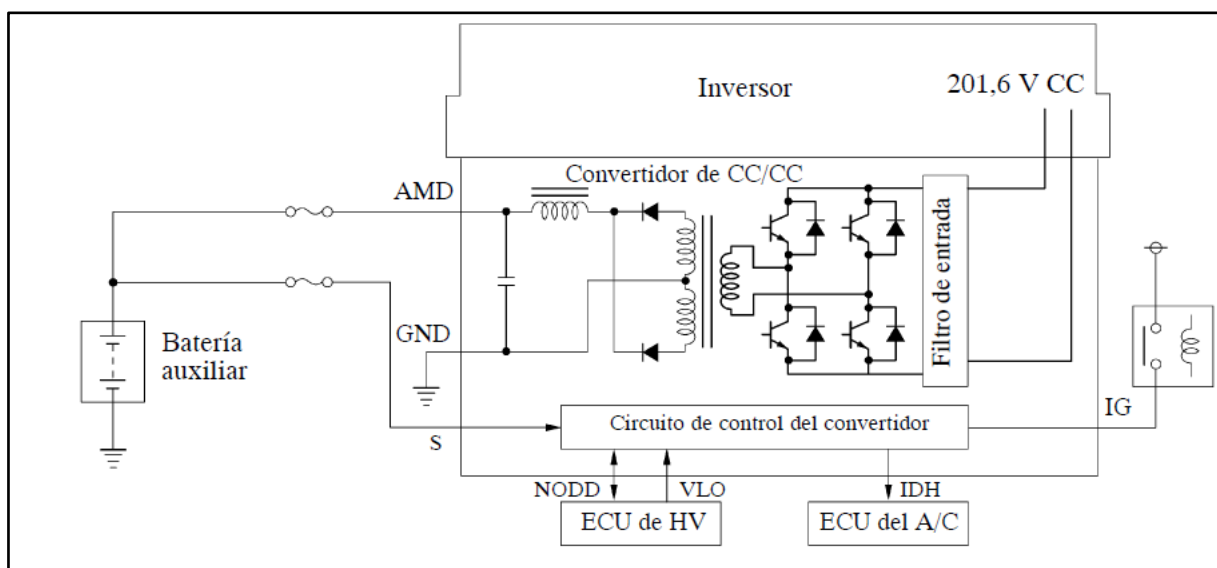


Figura 2.3 Diagrama del Convertidor de CC/CC

(Toyota Technical Training, 2006)

2.6.3. Inversor del A/C

En el conjunto del inversor se ha incluido un inversor del A/C que suministra alimentación para impulsar el compresor del inversor eléctrico del sistema del A/C. Este inversor convierte la tensión nominal de la batería de 201,6 V CC a 201,6 V CA y suministra alimentación para operar el compresor del sistema del A/C. (Toyota Technical Training, 2006)

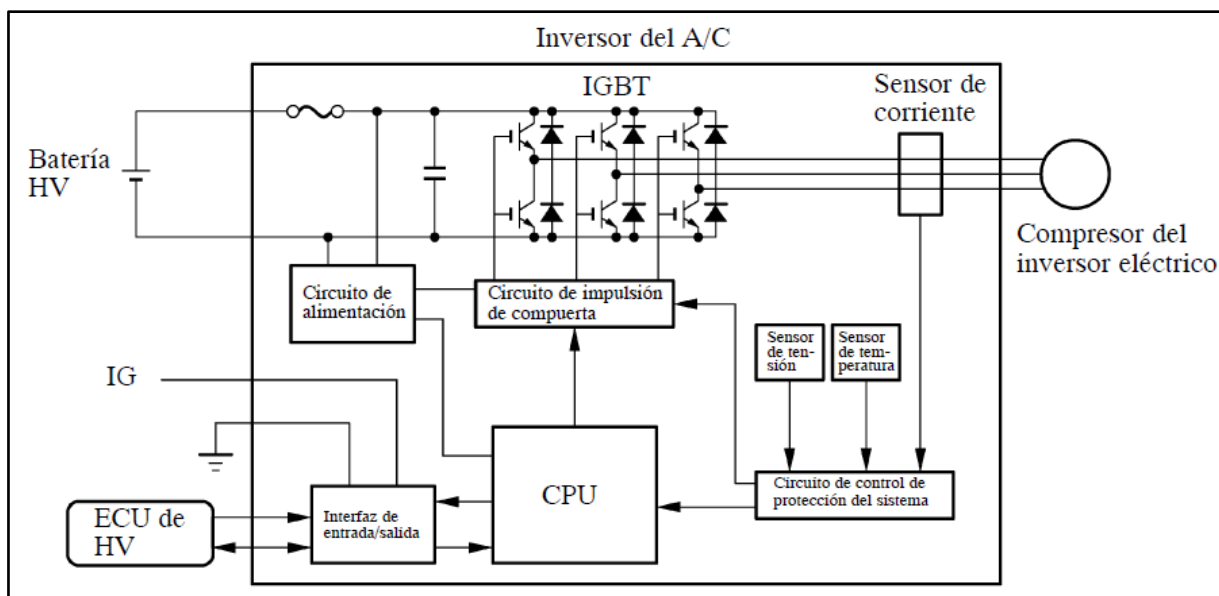


Figura 2.4 Diagrama del Inversor del A/C

(Toyota Technical Training, 2006)

2.7. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO INVERSOR Y MOTOGENERADORES

El inversor al igual que los motogeneradores está provisto de ductos internos de enfriamiento por agua y refrigerante aparte de las termocuplas de tipo NTC que monitorean el aumento de temperatura en estos elementos que al momento de su operación generan calor por la variación de frecuencia y circulación de altas corrientes. Las termocuplas son del orden de los 5k y están conectadas en serie a una resistencia de valor fijo formando un divisor de tensión que facilita el monitoreo de las temperaturas por medio de la ECU híbrida.

Los valores de temperatura normales en el inverso fluctúan entre 30 y 100 grados centígrados lo que equivale a voltajes en el rango de los 4,5 V (100°) y 2V (300°). Cuando el sistema detecta valores de temperatura cercanos a los 100 grados centígrados, trata de enfriar el Inverter para lo cual activa la bomba y el electroventilador, al activar la bomba el líquido refrigerante comienza a circular produciendo un intercambio de calor en la parte baja del Inverter para bajar la temperatura del mismo y adicionalmente al accionar el electroventilador ayuda al enfriamiento del líquido al pasar por el radiador.

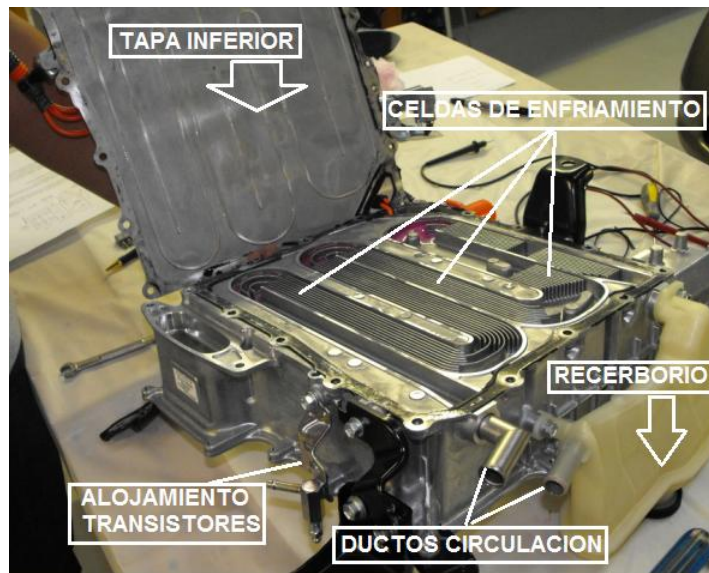


Figura 2. 24 Serpentín de enfriamiento inversor

Electronics, Cise. (2013)

El sistema de enfriamiento del Inverter y los Motogeneradores está provisto de un tanque de almacenamiento del refrigerante caliente (Coolant Heat Storage Tank) el cual está en capacidad de almacenar el líquido caliente por lapso de 3 días, este sistema permite un rápido calentamiento de la maquina (MCI Motor de Combustión Interna) precalentando la cabeza de cilindros para cuando el MCI arranque lo haga desde un rango mayor de temperatura reduciendo así el esfuerzo del arranque en frio y reduciendo también de esta forma la producción de emisiones al medio ambiente. (Cise Electronics Corp, 2013)

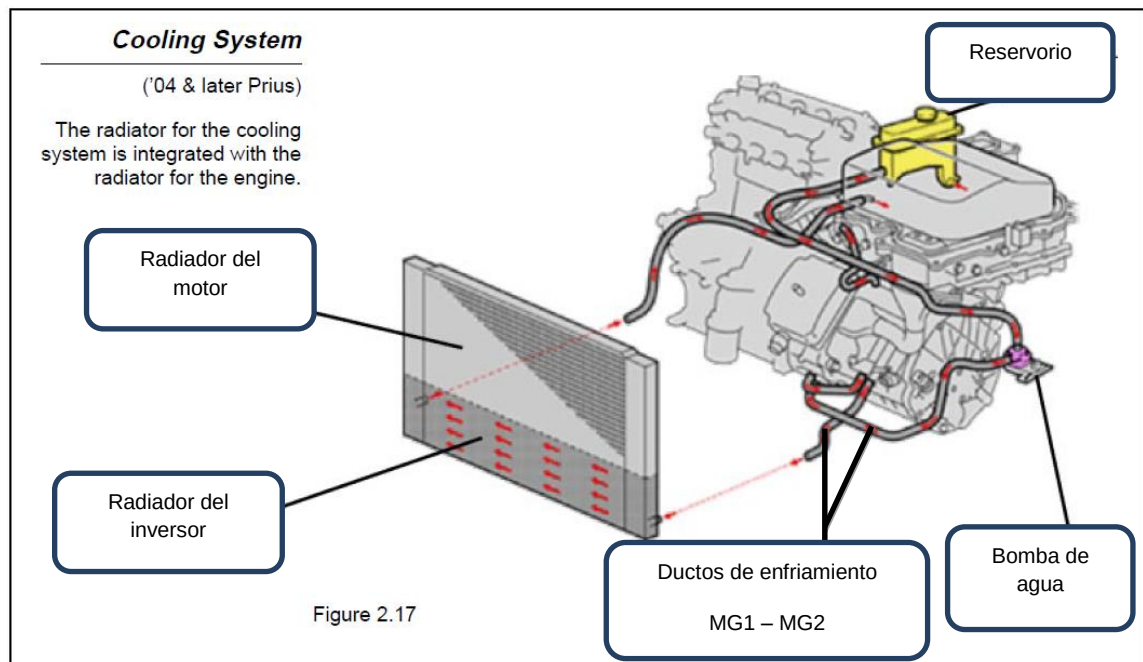


Figura 2. 25 Sistema de refrigeración inversor – motogeneradores

(Toyota Technical Training, 2006)

Se puede apreciar en el grafico el sistema de refrigeración del inversor el cual tiene un radiador propio en la parte inferior del radiador del motor de combustión interna, aparte de esto se puede ver el reservorio del inversor y los ductos de enfriamiento para los motogeneradores.

La elevación de tensión se realiza en el interior del booster por conmutación de alta frecuencia hacia la fuente switch interna por parte del IPM, esta también trae como consecuencia la conmutación de transistores IGBT que conmutan corrientes altas y generan incremento de la temperatura, para este caso en particular el

incremento de temperatura es observado por el IPM de manera electrónica y no por medio de termocuplas, por medio de esta información el IPM puede bloquear el accionamiento de los transistores en caso de percibir un incremento importante que pueda causar daños al sistema. (Cise Electronics Corp, 2013)

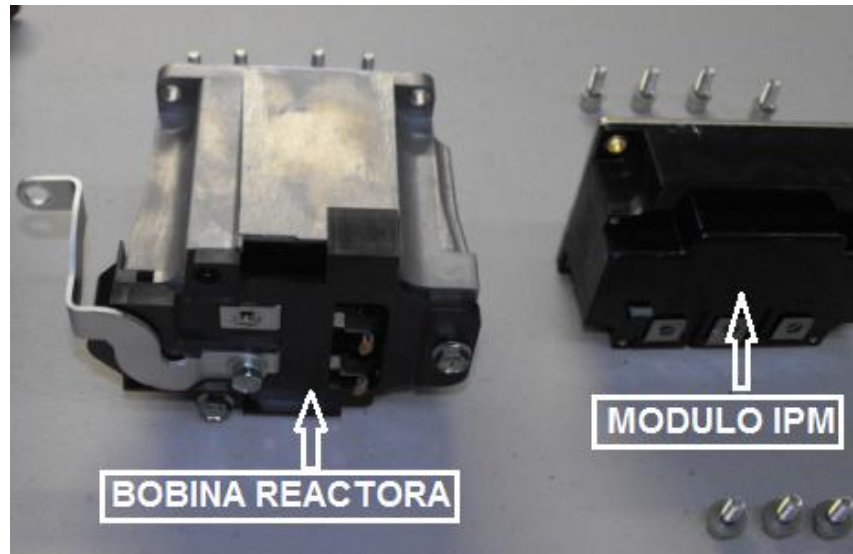


Figura 2. 26 Bobina reactiva y modulo IPM

(Cise Electronics Corp, 2013)

2.8. SISTEMA DE ALTA TENSIÓN

El sistema de alta tensión está comprendido en conexiones entre baterías HV, inversor y moto generadores, el sistema maneja tensiones hasta 650 V obviamente esto dependerá de la versión del Toyota prius y la generación del sistema híbrido THS (Toyota Hybrid System).

El cable es de material aluminio en su interior y su revestimiento es de color naranja para su distinción entre los demás cables que manejan tensiones inferiores, soporta alta tensión y alto amperaje y está provisto de un blindaje el cual se encuentra a su alrededor conectado a tierra con el fin de reducir interferencias electromagnéticas. Como se puede observar en el gráfico inferior 2.27 que detalla las conexiones con el inversor.

En la figura 2.27 se observa el cable de entrada de corriente de las baterías HV y las conexiones trifásicas de salida para MG1 y MG2. Al momento de desmontar las tapas de seguridad el sistema tiene un jumper de seguridad el cual corta el suministro de tensión mediante los relés de las baterías HV hacia el inversor cuando se desmontan dichas tapas.

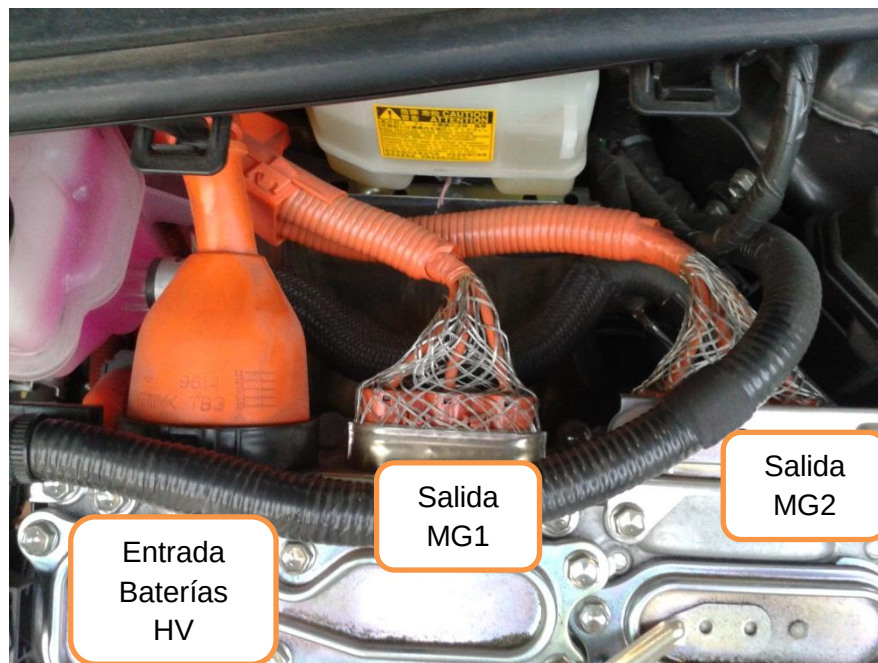


Figura 2. 27 Cables HV conexiones inversor

Acosta, José. (2013)

Es necesario mencionar la existencia de la hay de 12 V para los demás elementos eléctricos del coche (incluida una toma de corriente para arrancar el motor con una batería normal, si fuera preciso).

En la figura 2.28 podemos apreciar la trayectoria del maso de cables de alta tensión de un modelo prius; empezando por el conector, en la parte frontal izquierda de la batería HV situada en el portaequipajes, el cable de alimentación pasa por debajo del asiento trasero, a través del panel del piso, a lo largo del refuerzo inferior del piso, y se conecta al inversor en el compartimiento del motor. Las conexiones de 12 V CC (+) de la batería auxiliar también siguen la misma ruta. (Toyota Technical Training, 2006)

Es importante resaltar que en el caso de colisión el sistema corta el suministro de alta tensión de las baterías mediante los relés lo cual las deja aisladas, evitando de esta manera cualquier peligro de incendio.

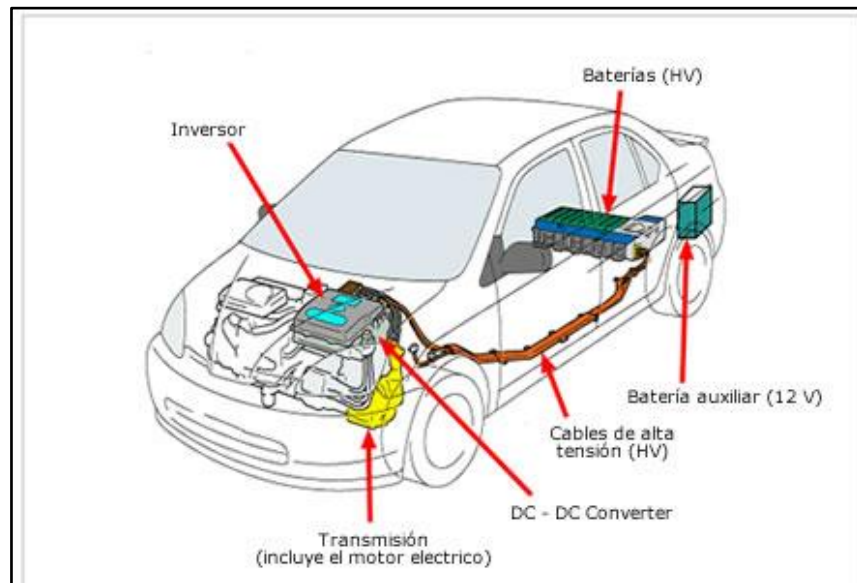


Figura 2. 28 Componentes y cables de alto voltaje
(Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

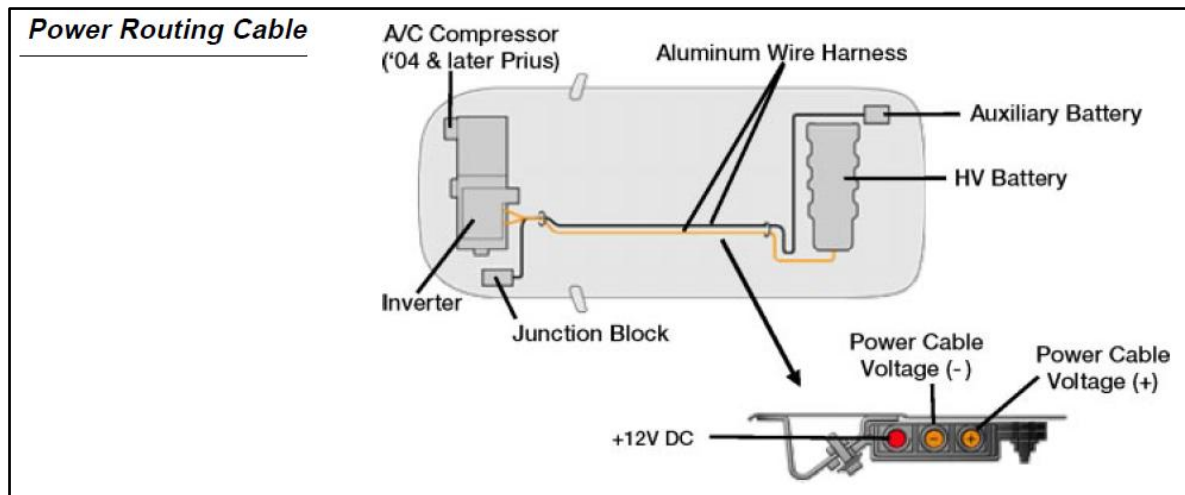


Figura 2. 29 Estructura del sistema alto voltaje
(Toyota Technical Training, 2006)

2.9. FRENOS REGENERATIVOS

El sistema de frenado regenerativo funciona cuando queremos disminuir la velocidad del vehículo, utilizando el motor térmico como freno o bien pisando el pedal de freno. En esta situación el motor eléctrico MG2 funciona como un generador, convirtiendo la energía cinética del vehículo en energía eléctrica, la cual se usa para cargar las baterías. Este sistema es particularmente efectivo en recobrar energía cuando se circula por ciudad, donde se producen aceleraciones y deceleraciones frecuentes. Cuando se pisa el pedal de freno, el sistema controla la coordinación entre el freno hidráulico del ECB (Electronic Control Braking) y el freno regenerativo y preferentemente usa el freno regenerativo, por consiguiente recobrando energía aun en las velocidades inferiores del vehículo. Con este sistema se consigue una regeneración de energía muy eficiente. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

Los frenos regenerativos consisten en una fuerza que se genera en el eje de rotación en la dirección inversa a la rotación del generador (MG2) que genera electricidad. Cuanto mayor es el amperaje generado (amperaje de carga de la batería), mayor será la fuerza de la resistencia.

El eje de transmisión y MG2 están unidos mecánicamente. Cuando las ruedas motrices hacen virar MG2 y hacen que opere como un generador, se transmite una fuerza de frenos regenerativos de MG2 a las ruedas motrices. Esta fuerza se controla mediante el sistema THS-II, que controla la generación de electricidad.

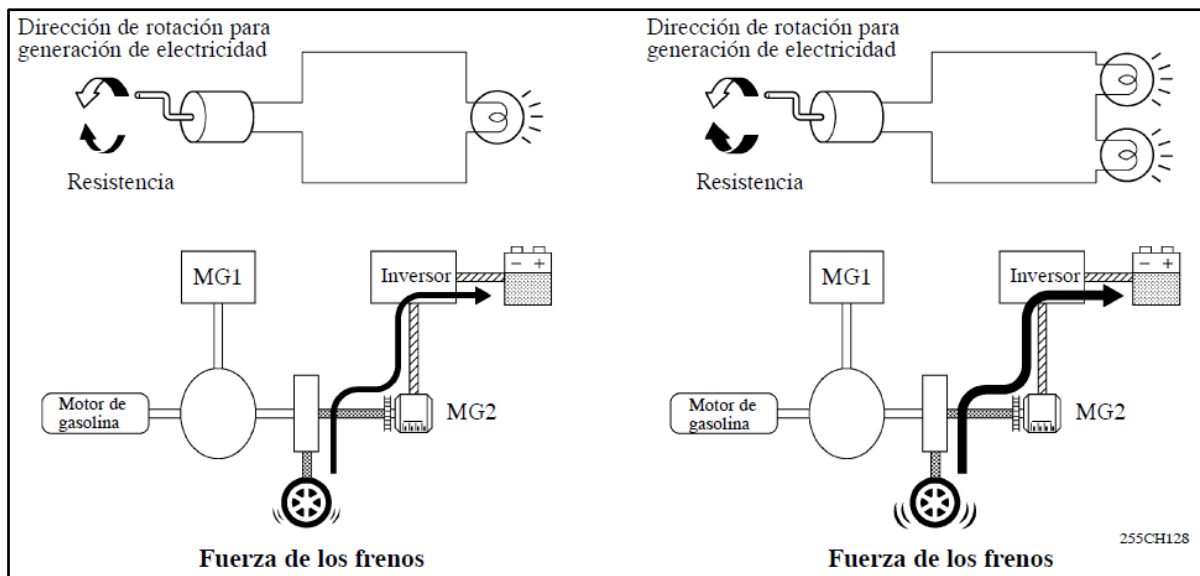


Figura 2. 30 Frenos regenerativos principio de funcionamiento

(Toyota Technical Training, 2006)

Tabla 2.3 Sistema de control de frenos

Sistema de control de los frenos	Función	Descripción general
Sistema ECB	Control cooperativo de los frenos regenerativos	Controla los frenos hidráulicos para recuperar la energía eléctrica utilizando los frenos regenerativos del sistema THS-II tanto como sea posible.
	VSC+* (Vehicle Stability Control + – control de la estabilidad del vehículo +)	- El sistema VSC+ ayuda a evitar que derrape el vehículo lateralmente como resultado de patinaje de las ruedas delanteras o fuerte patinaje de las ruedas traseras durante un viraje. - Efectúa el control cooperativo con la ECU de EPS para proporcionar asistencia a la dirección de acuerdo con las condiciones del vehículo.
	ABS (Anti-lock Brake System – sistema de frenos antienclavamiento)	El ABS ayuda a evitar que se enclaven las ruedas cuando se aplican los frenos firmemente o cuando la superficie es resbaladiza.
	EBD (Electronic Brake force Distribution – distribución electrónica de la fuerza de frenado)	El control de EBD utiliza el ABS, realizando la distribución adecuada de la fuerza de los frenos entre las ruedas delanteras y traseras de acuerdo con las condiciones de la circulación. Además, durante el frenado al tomar una curva, controla también las la fuerzas de frenado de las ruedas izquierdas y derechas, ayudando a mantener el comportamiento del vehículo.
	Servofrenos	Los servofrenos tienen dos funciones: - Incrementar la fuerza de frenado si la operación del pedal del freno es insuficiente cuando se requiere frenar con emergencia. - Incrementar la fuerza de frenado si se requiere una mayor fuerza de frenado.

2.8.1. Distribución de la fuerza de los frenos

- La distribución de la fuerza de los frenos entre los frenos hidráulicos y los frenos regenerativos varía según la velocidad del vehículo y el tiempo.
- La distribución de la fuerza de los frenos entre los frenos hidráulicos y los frenos regenerativos se realiza controlando los frenos hidráulicos de modo que la fuerza total de los frenos hidráulicos y de los frenos regenerativos corresponda con la fuerza requerida por el conductor.
- Si los frenos regenerativos quedan inoperables debido un mal funcionamiento del sistema THS-II, el sistema de frenos efectúa el control para que toda la fuerza de los frenos requerida por el conductor se suministre con el sistema de los frenos hidráulicos. (Toyota Technical Training, 2006)

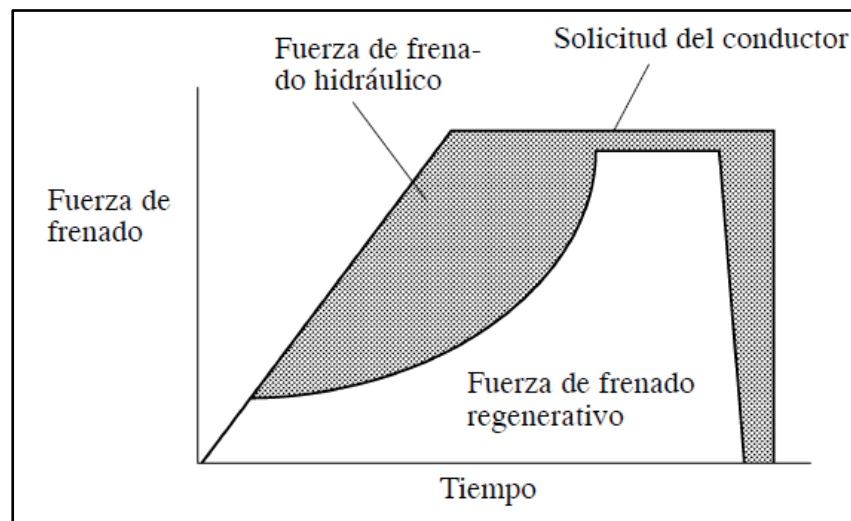


Figura 2. 31 Cambios en la distribución de fuerza de frenado

(Toyota Technical Training, 2006)

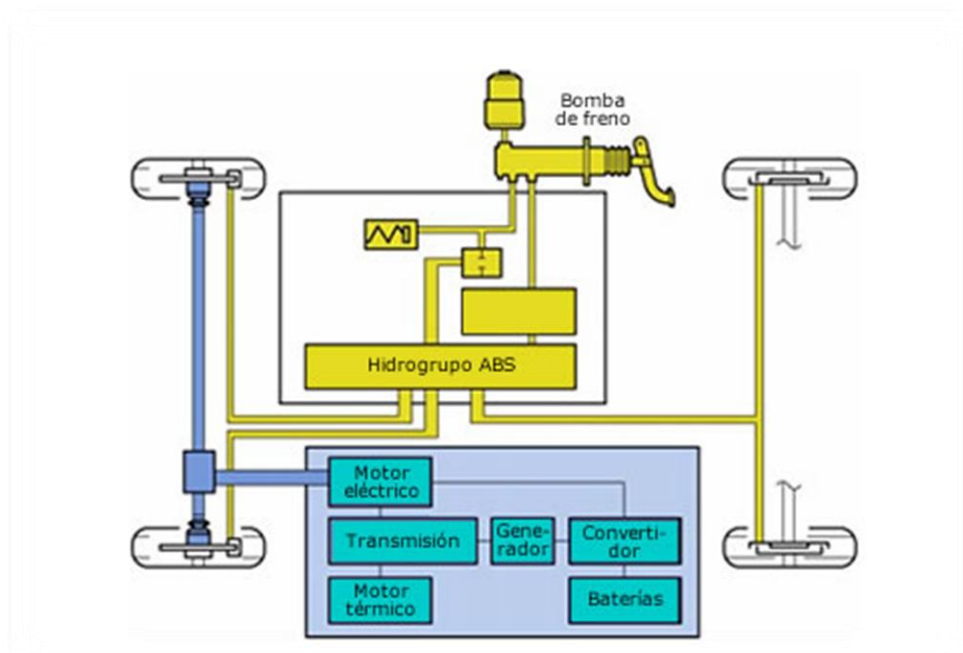


Figura 2. 32 Esquema del sistema de frenado regenerativo

(Toyota Technical Training, 2006)

2.10. ECU DEL SISTEMA HÍBRIDO

El módulo de control electrónico híbrido o ECU híbrida controla todo el sistema híbrido con precisión y velocidad mediante la técnica conocida como PWM (modulación de ancho de pulso) muy utilizada para la activación de actuadores debido a su versatilidad en términos de programación. PWM consiste en la variación del pulso respecto a la frecuencia.

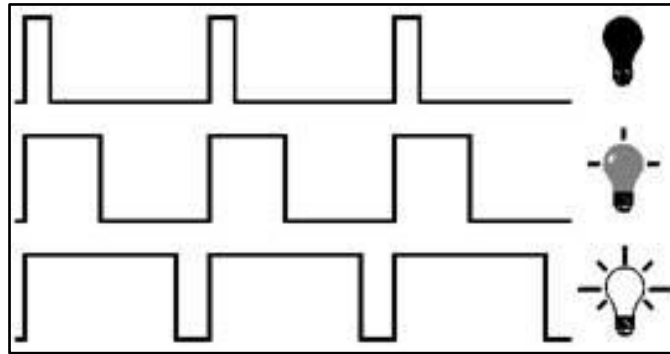


Figura 2. 33 PWM (modulación ancho de pulso)

(Cise Electronics Corp, 2013)

Entre las funciones más relevantes que gestiona el modulo se encuentra: la activación de los relés de alta tensión que se ubican en el módulo de la batería para el paso del alto voltaje hacia el inversor, la activación de los motogeneradores MG1 y MG2. Entre otras funciones se comunica con diversos módulos mediante Red CAN como son: el modulo inmovilizador, control de anti derrapé, airbag, transmisión, módulo de batería híbrida, módulo de control de motor, módulo del control de frenado, etc.

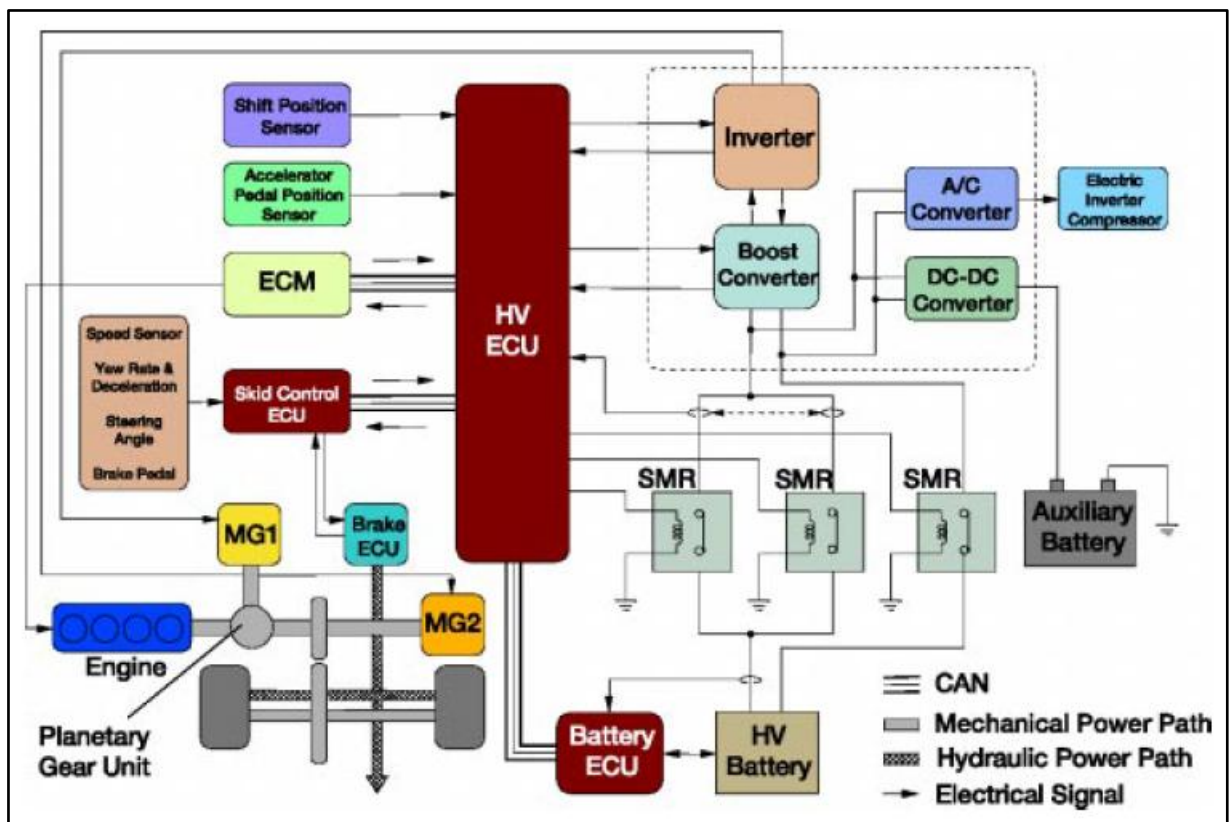


Figura 2. 34 Diagrama del sistema ECU HV

(Toyota Technical Training, 2006)

CAPITULO 3

SISTEMA DE TRANSMISION HIBRIDO

3.1. ANTECEDENTES

A inicios del siglo XX cuando empezó la popularización del automóvil los engranajes planetarios han sido utilizados en vehículos americanos pues los primeros cambios de velocidades de camiones y automóviles ligeros estaban constituidos por cajas de engranajes planetarios. Su principal ventaja era la facilidad de manejo en comparación con la destreza que requería el sistema de las cajas de engranajes deslizantes, debido a que en ese tiempo estas cajas carecían de dispositivos de sincronización y el paso de una a otra combinación de engranajes durante la marcha exigía un alto nivel de pericia por parte del conductor. (Brejcha, 1978)

Sin embargo las limitaciones de diseño redujeron las posibilidades de las cajas de engranajes planetarios a dos velocidades adelante y una atrás, aunque se recuerda bien el modelo de 1906 de Cadillac incorporaba un cambio de tres velocidades. Aquellos presentaban algunos inconvenientes modelos primitivos: eran ruidosos, la vida útil de los cojinetes era corta aparte que estos rechinaban o se agarrotaban durante la marcha a causa de una aplicación irregular del freno de cinta.

Los adelantos en el diseño de los cambios de engranajes deslizantes llevaron finalmente a estos a ganar popularidad sobre los modelos de engranajes planetarios

y su aplicación en automóviles y camiones se hizo casi universal. No obstante el Ford modelo T utilizó un cambio planetario hasta el año 1928. (Brejcha, 1978)



Figura 3. 1 cambio planetario Ford modelo T

<http://www.hfmgv.org/exhibits/showroom/1908/photos.html>

En la década de 1930 los engranajes planetarios volvieron a la escena con la introducción de la supermarcha automática de Borg-Wagner y el cambio Hydramatic de General Motors. Ello era el resultado de la investigación y el desarrollo en engranajes helicoidales y los cojinetes de agujas, lo que permitió eliminar varios defectos primitivos en los engranajes planetarios. (Brejcha, 1978)

La gama de aplicación de los engranajes planetarios es muy amplia, variando desde los cambios automáticos de automóviles y camiones hasta los mecanismos de dirección y de las etapas finales de las transmisiones de la maquinaria de

construcción, de ruedas y orugas, e incluyéndose su utilización como engranajes desmultiplicadores de los mecanismos de propulsión de las hélices de aviones. (Brejcha, 1978)

3.1.1. Relación de cambio

Los tres componentes básicos de un engranaje epicicloidal o planetario son:

- Sol (Sun gear): El engranaje central.
- Portaplanetas (Carrier gear): Sujeta uno o más engranajes planeta periféricos, del mismo tamaño, engranados con el sol.
- Corona o anillo (Ring gear): Un anillo externo con dientes en su cara interna que engrana con el o los planetas.

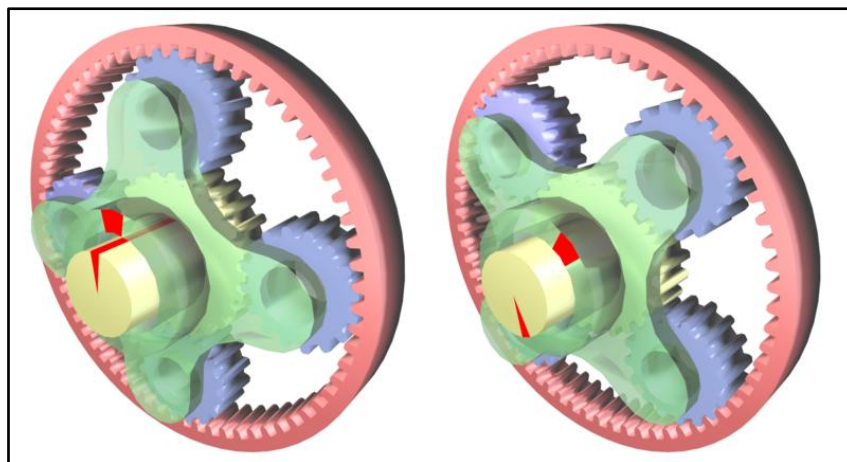


Figura 3.2 Sistema de engranaje planetario

Wikipedia. (2011). http://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje_planetario.

En un sistema de engranaje planetario, uno de estos tres componentes básicos permanece estacionario, uno de los dos restantes es la entrada, proporcionando potencia al sistema, y el último componente es la salida, recibiendo la potencia del sistema. La relación de la rotación de entrada con la de salida depende del número de dientes de cada rueda y de qué componente permanezca estacionario.

La relación de transmisión del conjunto de engranajes planetarios es determinado por el número de dientes del porta satélites, engranaje de anillo y el engranaje del sol. Teniendo a consideración que el porta satélites no tiene dientes y los engranajes de piñón siempre funcionan como engranajes inactivos (locos), su número de dientes no es relacionado con la relación de transmisión de la serie de engranajes planetarios. Sin embargo, es necesario tener un número para realizar los respectivos cálculos. Simplemente hay que contar el número de dientes en el engranaje del sol y la corona dentada, se suma estos dos números y se obtiene el valor del porta satélites para efectos del cálculo. (Training, Toyota Technical, 2006)

$$\begin{aligned}
 \text{Gear ratio} &= \frac{\text{Number of output gear teeth}}{\text{Number of input gear teeth}} \\
 &= \frac{\text{Number of carrier teeth (Zc)}}{\text{Number of ring gear teeth (Zr)}} \\
 &= \frac{56 + 24}{56} = \frac{80}{56} \\
 &= 1.429
 \end{aligned}$$

La operación de un conjunto de engranajes planetarios simple se resume en la tabla 3.1; a continuación se pueden obtener diferentes velocidades y direcciones de rotación.

Tabla 3. 1 Operación conjunto de engranajes planetarios simple

Estacionario	Entrada	Salida	Rotacional		Sentido de giro
			Velocidad	Torque	
Corona	Solar	Portasatélites	Reducción	Incremento	Misma dirección que la entrada
	Portasatélites	Solar	Incremento	Reducción	
Solar	Corona	Portasatélites	Reducción	Incremento	Misma dirección que la entrada
	Portasatélites	Corona	Incremento	Reducción	
Portasatélites	Solar	Corona	Reducción	Incremento	Dirección opuesta a la entrada
	Corona	Solar	Incremento	Reducción	

Elaborado: José Acosta J.

Fuente: (Training, Toyota Technical, 2006)

3.1.2. Tipos de sistemas de engranajes

Las transmisiones automáticas en su gran mayoría utilizan dos sistemas de engranajes o derivaciones de estas. Estos son el sistema simple Simpson y el sistema Ravigneaux.

- Sistema Simpson: consisten en dos trenes de planetarios que comparten los planetarios y un árbol de salida. Esta integración de los planetarios comunes ofrece una clasificación adicional del conjunto denominándolo también planetario compuesto. (<http://www.todomecanica.com>, 2012)

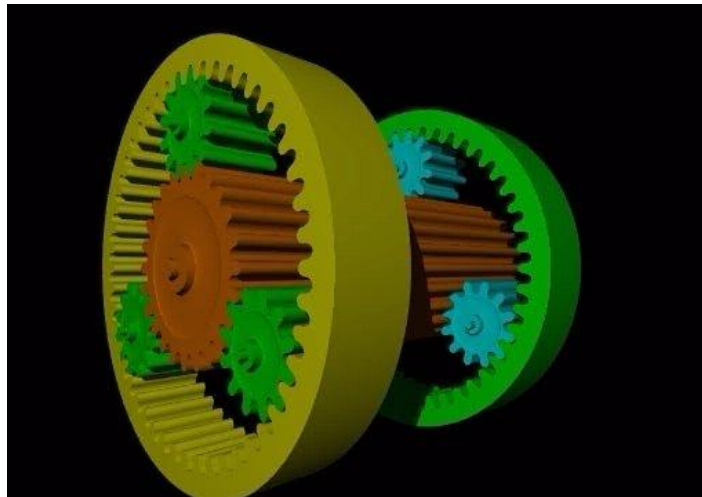


Figura 3. 3 Sistema de engranaje planetario Simpson

Pelletier, Y. (2007). <http://web.ncf.ca/ch865/graphics/Simpson.jpg>.

- Sistema Ravigneaux: Sus característica es poseer tres conjuntos de satélites dobles, cada conjunto de satélites está compuesto por un piñón corto y otro largo y dos engranajes planetarios independientes que se engranan con los satélites doble del portasatélites. (<http://www.todomecanica.com>, 2012)

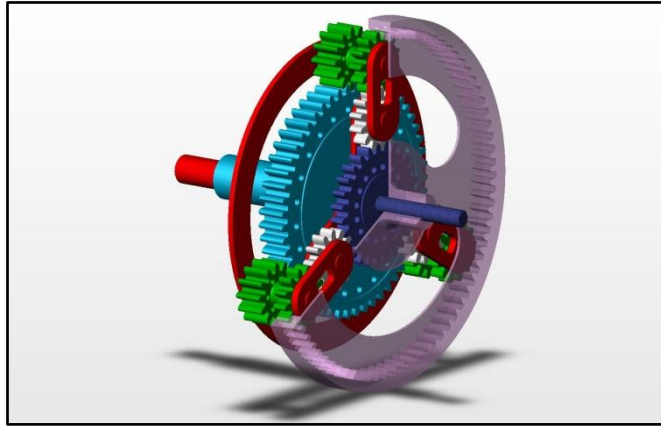


Figura 3.4 Sistema Planetario Ravigneaux

<http://stresstensor.com/solidmodeling.htm>

3.1.3. Operación de los engranajes planetarios en una transmisión automática

Hacia adelante

En la figura 3.5 se observa que el engranaje solar se encuentra estacionario, el ingreso de giro va por la corona dentada y la salida es por el portasatélites. Cuando los dientes de la corona dentada giran a la derecha los satélites pasean alrededor del engranaje solar haciendo que el portasatélites gire a una velocidad reducida. La dirección giro del engranaje de salida es la misma que la entrada; en este caso hacia la derecha.

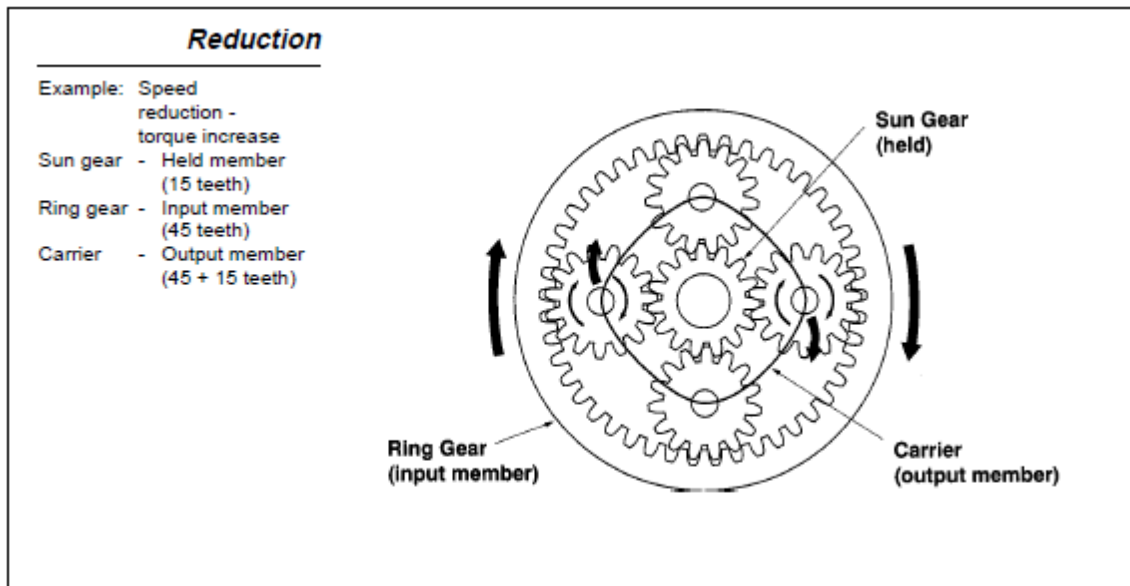


Figura 3. 5 Hacia adelante

(Training, Toyota Technical, 2006)

Sobre marcha (overdrive)

En la figura 3.6 el engranaje solar se encuentra fijo, el giro ingresa por el porta satélites y la salida por el engranaje de anillo o corona. Cuando el porta satélites gira hacia la derecha, los dientes externos de sus piñones satélites pasean por el engranaje solar mientras gira. Finalmente el engranaje de anillo acelera a una velocidad mayor que la entrada (porta satélites) en sentido horario obteniendo un incremento en la velocidad.

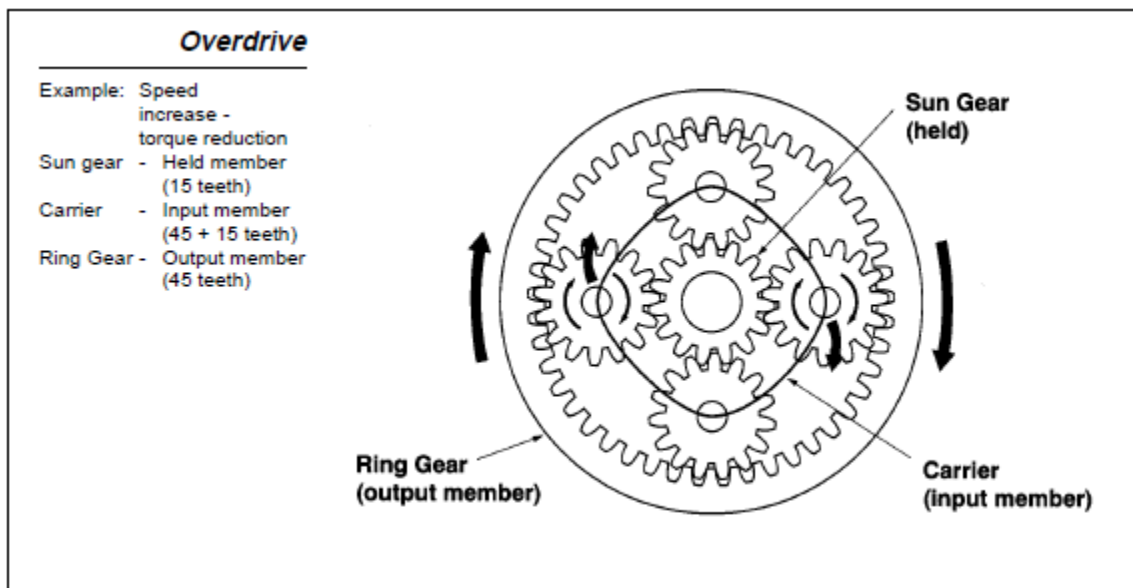


Figura 3. 6 Sobre marcha

(Training, Toyota Technical, 2006)

Dirección contraria

Cada vez que se detiene el porta satélites y cualquiera de los otros engranajes actúan como entrada de giro, el engranaje de salida girará en sentido contrario. Se observa en la figura 3.7 el porta satélites se encuentra detenido, el engranaje solar actúa como ingreso girando en sentido horario; finalmente la salida se realiza por el engranaje de anillo el cual gira en dirección opuesta a la entrada.

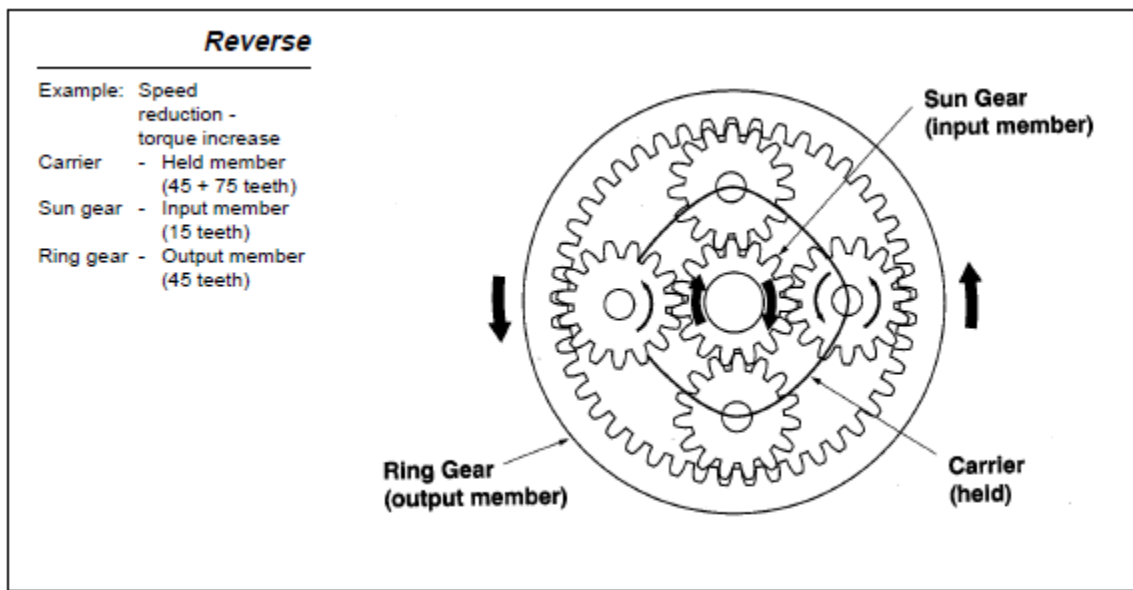


Figura 3. 7 Reversa

(Training, Toyota Technical, 2006)

Impulsión directa - (Relación de uno a uno)

Cuando los dos elementos del sistema se fijan y otro miembro proporciona la entrada convirtiendo la fuerza, todo el conjunto gira a la misma velocidad que la entrada.

Las limitadas relaciones de transmisión de un solo conjunto de engranajes planetarios no permiten aprovechar la curva de par del motor de una manera óptima. Razón por la cual en las transmisiones automáticas se utilizan dos grupos de engranajes planetarios los cuales únicamente comparten el engranaje solar.

3.2. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ENGRANAJES PLANETARIOS EN VEHÍCULOS HÍBRIDOS.

El sistema de engranajes planetarios o epicicloidaes se los ha venido utilizando en la industria automotriz para las transmisiones automáticas debido a su forma compacta la cual permite un reparto de par en distintos puntos a través de los satélites, pudiendo transmitir pares más elevados. Estos engranajes están accionados mediante sistemas de mando normalmente hidráulicos o electrónicos que accionan frenos y embragues que controlan los movimientos de los distintos elementos de los engranajes.

Hoy en día podemos ver que algunos fabricantes de vehículos híbridos usan engranajes planetarios en sus transmisiones como en el caso de Toyota en sus modelos Prius, Lexus RX 400h, etc. También en el caso de GM en su modelo Volt.

En los vehículos híbridos se utiliza el sistema planetario para conmutar el flujo de propulsión proveniente del motor de combustión interna o de los motores eléctricos y finalmente llevarlo hacia las ruedas del vehículo.

3.2.1. Unidad del Transeje

La unidad del transeje del Toyota Prius está compuesta del amortiguador del transeje, MG1 y MG2, unidad de engranajes planetarios y de una unidad de reducción (que contiene una cadena silenciosa, contraengranaje de impulsión, engranaje de piñón de impulsión final), y engranaje de anillo de impulsión final.

La unidad de engranajes planetarios, MG1, MG2, amortiguador del transeje y rueda dentada de impulsión de la cadena están situados coaxialmente (comparten un eje común), y la fuerza motriz se transmite desde la rueda dentada de impulsión de la cadena a la unidad de reducción mediante una cadena silenciosa.

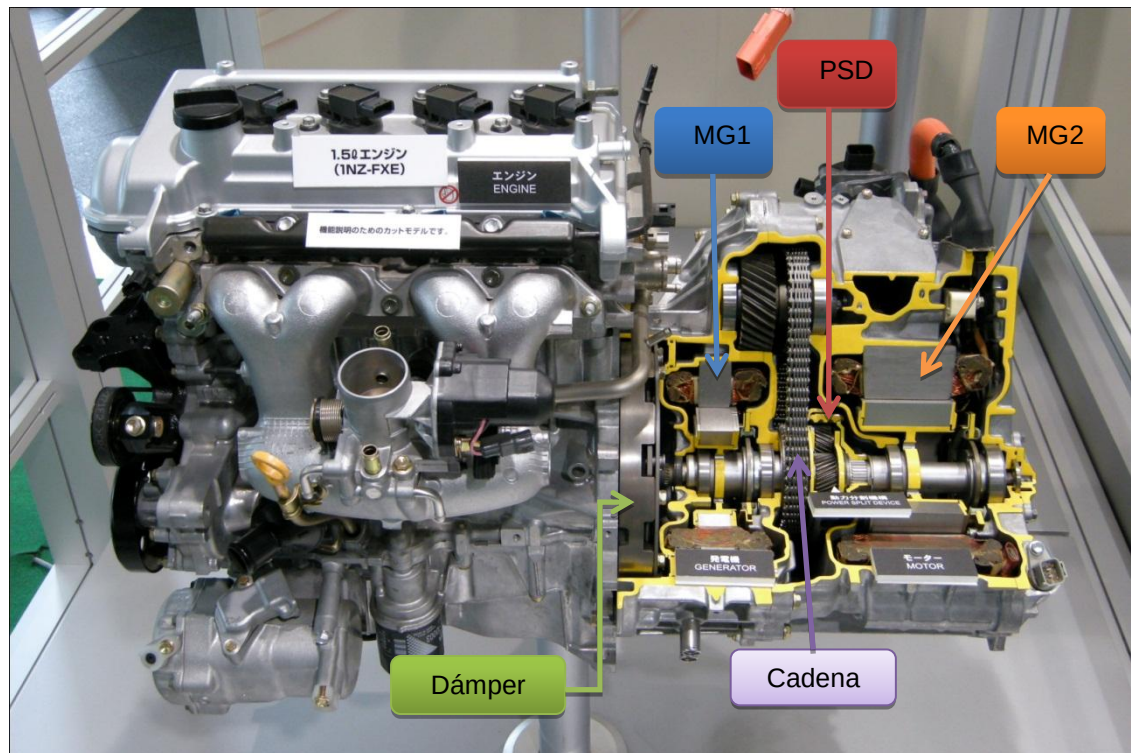


Figura 3.8 Unidad de Transeje

<http://www.myprius.co.za/technical.htm>

A uno de estos elementos está engranado el motor térmico, al otro un generador eléctrico (MG1) y el otro es solidario con las ruedas del vehículo (MG2). La clave del sistema es que el giro del generador eléctrico puede ser mayor o menor, en función de la resistencia que oponga. Si es preciso un desarrollo corto, el generador eléctrico opone una gran resistencia al movimiento. A consecuencia de ello roba

fuerza al motor térmico y la envía al motor eléctrico, que también impulsa a las ruedas. La fuerza que va a parar al motor es finalmente la misma, si no entran en juego las baterías. Pero, mediante este método, el engranaje epicicloidal tiene el desarrollo corto que hace falta (por ejemplo para arrancar) y largo para alcanzar un velocidad alta, a igualdad de régimen del motor.

A medida que el coche gana velocidad, el generador eléctrico opone menos resistencia y su giro aumenta. A causa de ello, el desarrollo se hace más largo. Si las baterías no intervienen en la aceleración, toda la fuerza de la que dispone el vehículo parte del motor térmico. Pero puede llegar a las ruedas bien a través del motor eléctrico, alimentado por el generador, o bien directamente a través del motor térmico, si el generador no actúa. (Aficionados a la Mecánica ©, 2012)

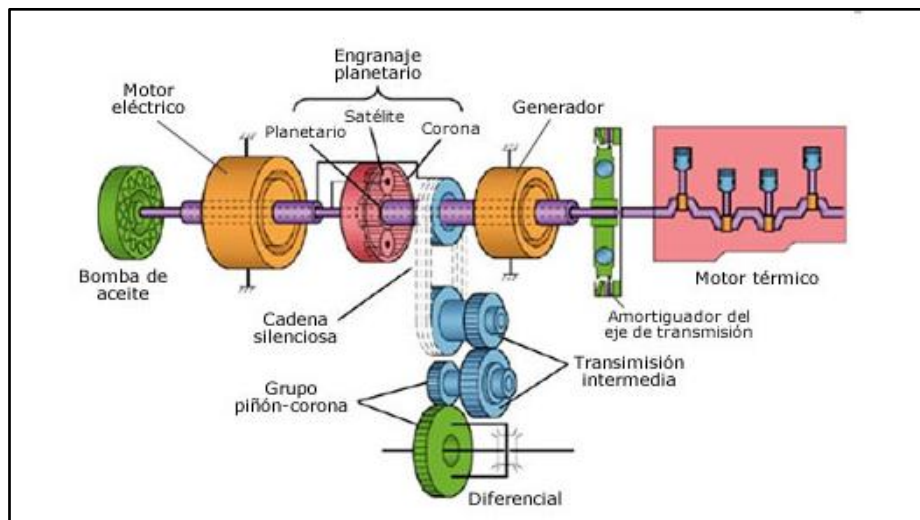


Figura 3.9 Esquema de componentes del sistema de transmisión

Aficionados a la Mecánica ©. (2011). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

3.2.2. Unidad de engranajes planetarios

Uno de los componentes vitales del Toyota Prius es el PSD (dispositivo repartidor de potencia) el cual está conformado por un conjunto de engranajes planetario simple tipo Simpson; dispositivo que elimina la necesidad de una caja de cambios tradicional al actuar como una transmisión continuamente variable (CVT), pero con relación de transmisión fija. Mediante el PSD se logra una distribución eficiente de la energía de propulsión proveniente de los motogeneradores (MG1 y MG2) y el motor de térmico (MCI), todos girando a velocidades diferentes y variables.

La salida de potencia del motor, que se transmite mediante la unidad de engranajes planetarios, se divide en la fuerza motriz dirigida a las ruedas motrices y la fuerza motriz para que MG1 genere electricidad.

Como parte de la unidad de engranajes planetarios, el engranaje solar está conectado al MG1, el engranaje de anillo está conectado al MG2, y el portaengranajes está conectado al eje de salida del motor. La fuerza motriz de transmite a través de la cadena al contraengranaje de impulsión.

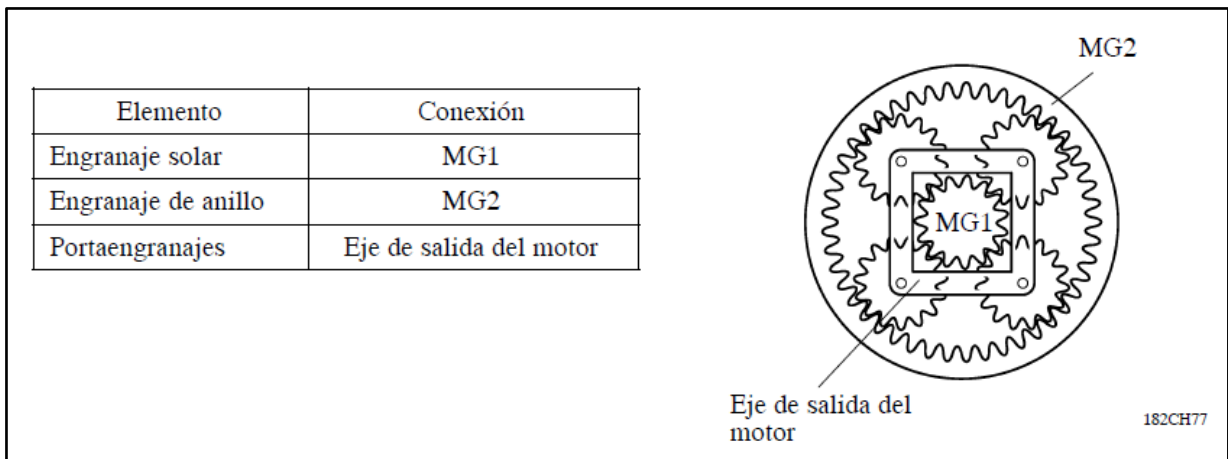


Figura 3.10 Unidad de engranajes planetarios

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

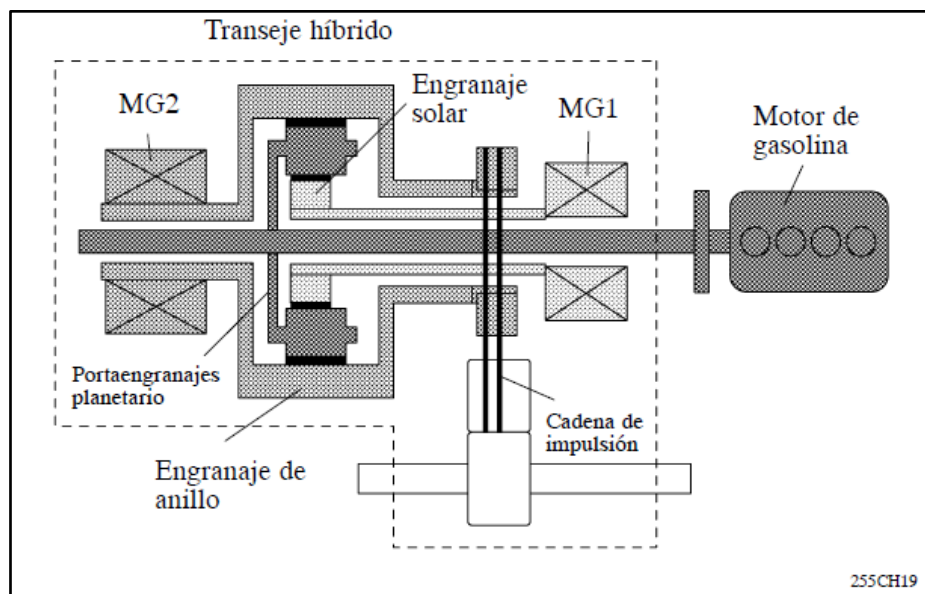


Figura 3.11 Estructura del transeje híbrido

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

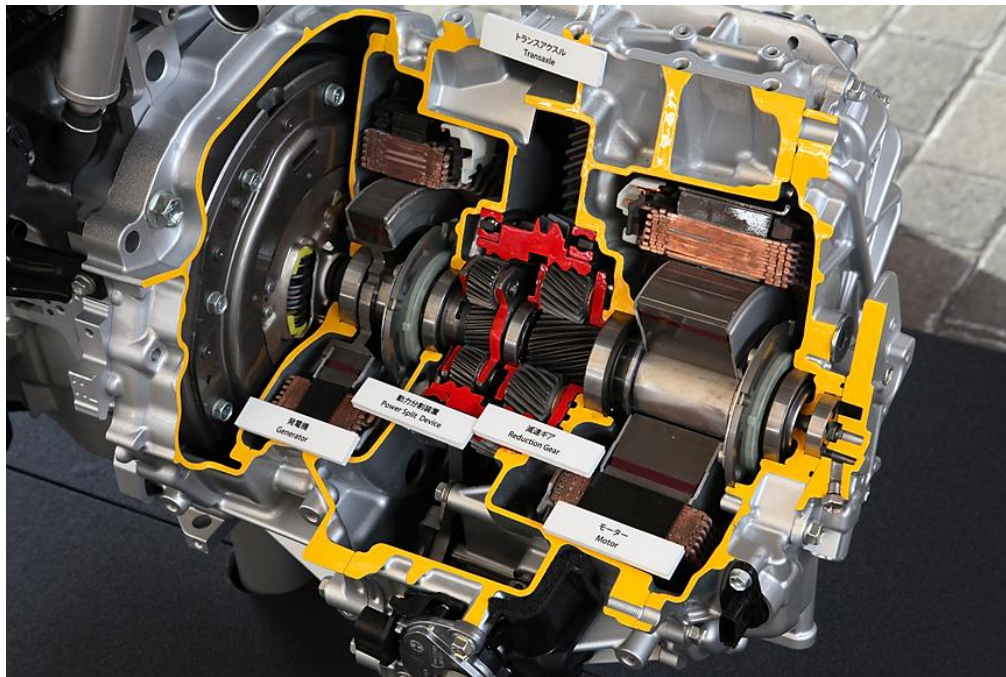


Figura 3. 12 Sistema de transmisión en corte Prius C

(Copyright (c) 2012 Impress Watch Corporation, 2012)

3.2.3. Amortiguador del transeje

El amortiguador del transeje transmite la fuerza motriz del motor de gasolina, a su vez contiene un mecanismo de absorción de vibraciones compuesto de un resorte espiral con bajas características de torsión y un volante de motor optimizado en su forma para poder reducir el peso. Este amortiguador emplea un material de fricción de placa sencilla y seca.



Figura 3.13 Amortiguador del Transeje

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

3.2.4. Unidad de reducción

La corona del engranaje planetario está solidariamente unida a las ruedas delanteras del coche, a través de un diferencial con grupo 4,113 a 1. Esa relación de 4,113 a 1 da un desarrollo de 27,6 km/h cada 1.000 r.p.m. del motor eléctrico. Si el coche puede salir desde parado con una marcha tan «larga», es porque hasta unos 25 km/h el par que puede generar el sistema de propulsión es unos 480 Nm. Como en cualquier otro coche, la transmisión multiplica ese par (en este caso por 4,113).

Por razones de espacio, la transmisión de par entre la corona y el diferencial se hace mediante una cadena de transmisión y dos pares de engranajes en el prius de segunda generación mientras que en el prius de tercera generación la conexión con el sistema de engranajes planetario ya no se realiza mediante cadena sino por engranajes como se puede diferenciar en la figura 3.11.



Figura 3.14 Unidad de engranajes del diferencial 2nd y 3ra generación

(Foro de XenForo TM software Ltd. © 2010-2012 XenForo, 2011-2013)

Siempre que el vehículo se encuentra en movimiento, la corona del engranaje planetario también se mueve. La fuerza para moverse proviene del motor eléctrico

(MG2) directamente o del empuje que le da el motor térmico. Cuanto más lenta es la velocidad del vehículo; mayor fuerza proviene del motor eléctrico. Cerca de la velocidad máxima, toda la fuerza proviene del motor térmico.

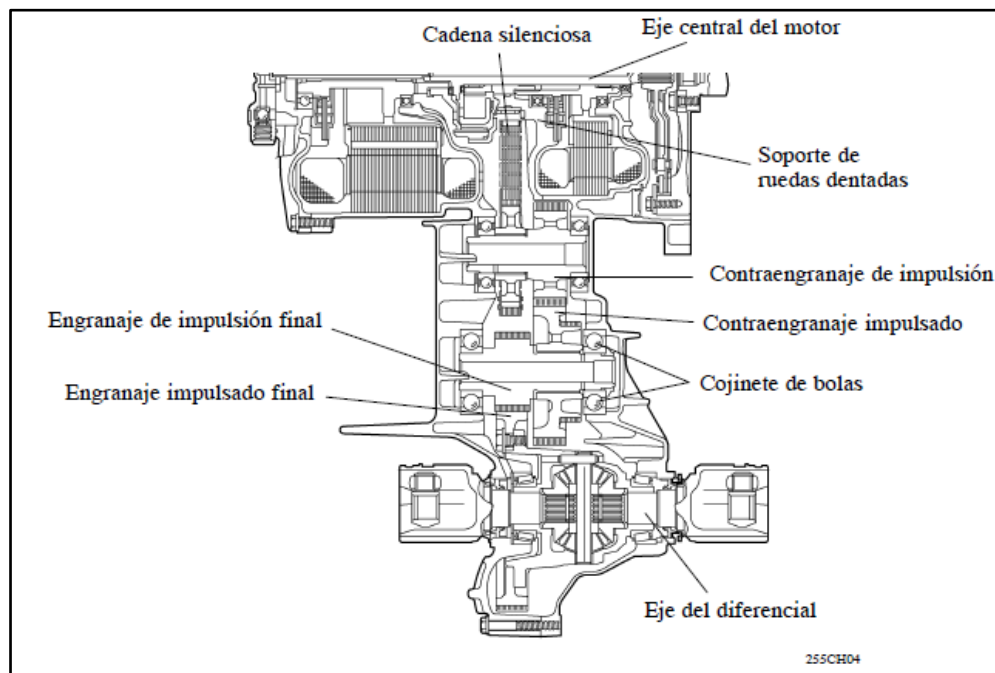


Figura 3.15 Unidad de reducción

Aficionados a la Mecánica ©. (2011). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

La unidad de reducción del Toyota Prius de segunda generación consiste de una cadena silenciosa, contraengranajes y engranajes finales. Se ha adoptado una cadena silenciosa con anchura de paso pequeño para asegurar una operación silenciosa, y la longitud total se ha reducido en contraste al mecanismo impulsado por engranajes. Los dientes de los contraengranajes y de los engranajes finales han

sido procesados mediante rectificado de gran precisión, y los flancos de los dientes han sido optimizados para asegurar una operación extremadamente silenciosa.

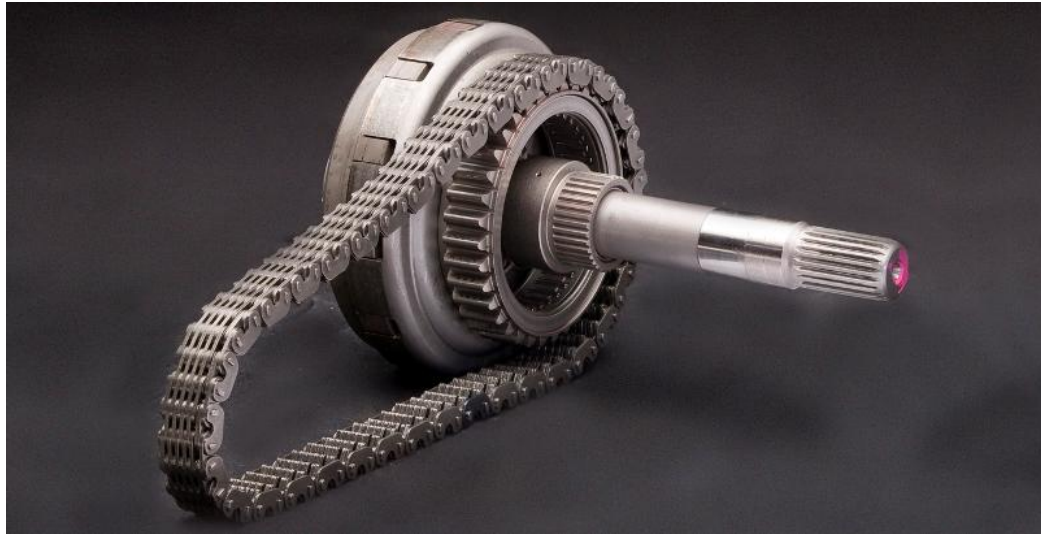


Figura 3. 16 Cadena silenciosa Prius 2nd generación

<http://www.myprius.co.za/technical.htm>

Los engranajes finales han sido colocados de la forma óptima para reducir la distancia entre el eje central del motor y el eje del diferencial, resultando así en una transmisión de tamaño compacto.

3.2.5. Unidad de lubricación

La transmisión esta provista de un sistema de lubricación forzada mediante una bomba trocoidal para la lubricación de la unidad de engranajes planetarios y de

los cojinetes del eje principal. Usa el mismo tipo de aceite se emplea para la parte de la unidad de reducción y la parte del diferencial. (Toyota Technical Training, 2006)

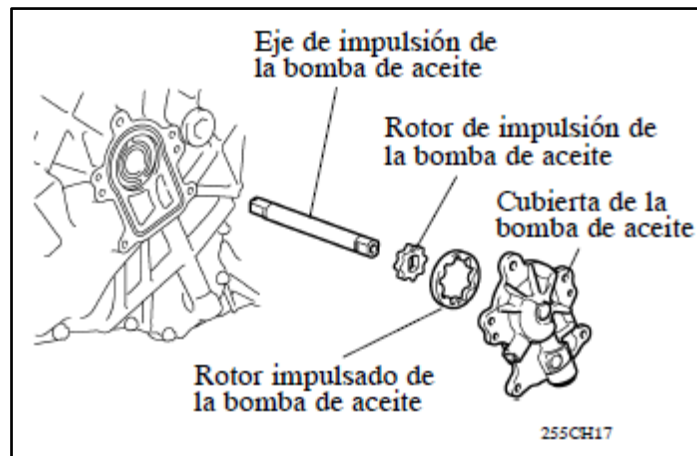


Figura 3.17 Sistema de lubricación

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

3.2.6. Conjunto de cambios de la transmisión

El conjunto está compuesto por una palanca de selección de cambios (cabina), un actuador de control de cambios (Transeje) y un mecanismo de bloqueo de estacionamiento.

La palanca para la selección de cambios se encuentra ubicada en el tablero de instrumentos y está equipada con unos sensores de cambio (tipo Hall): sensor de selección y sensor de cambio, el primero detecta la posición lateral de la palanca y el segundo la posición longitudinal. Los sensores transmiten información de posición

de la palanca a la ECU HV para establecer una relación de engranajes óptima controlando las velocidades de ICE (motor combustión), MG1 y MG2.

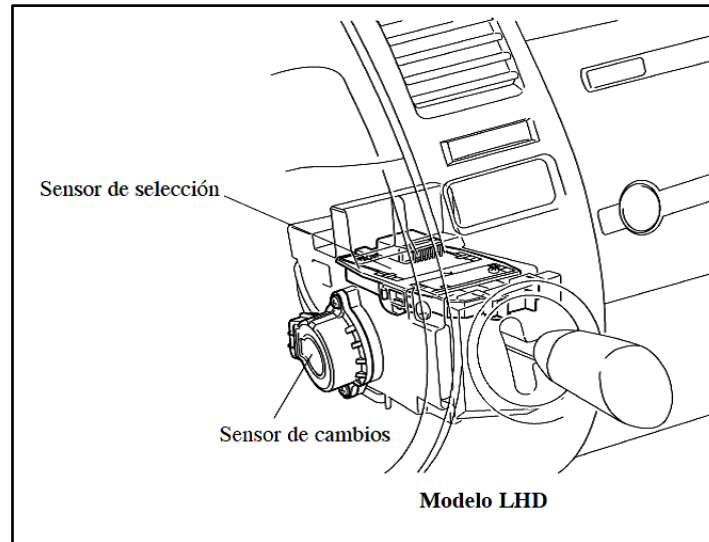


Figura 3. 18 Palanca de selección de cambios

(Toyota Technical Training, 2006)

El actuador del control de cambios se encuentra montado lateralmente en el transeje, cuando recibe una señal proveniente de la ECU de control de transmisión, el motor del actuador vira para mover la barra de bloqueo de estacionamiento, que desliza el trinquete de bloqueo; para de esta manera el trinquete acople el engranaje de estacionamiento que está instalado en el contraengranaje impulsado y lo bloquee.

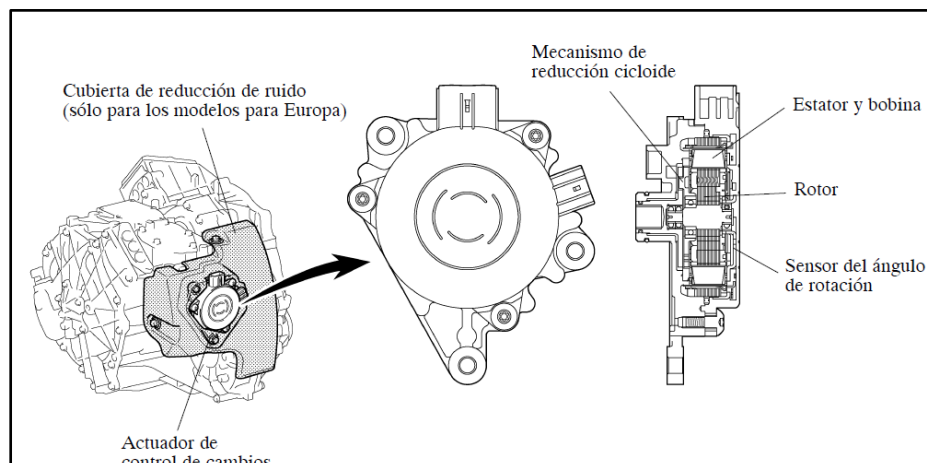


Figura 3. 19 Actuador de control de cambios

(Toyota Technical Training, 2006)

El mecanismo de bloqueo de estacionamiento consiste en el acoplamiento de un trinquete de bloqueo con el engranaje de estacionamiento integrado al contraengranaje impulsado bloqueando de esta manera el movimiento del vehículo.

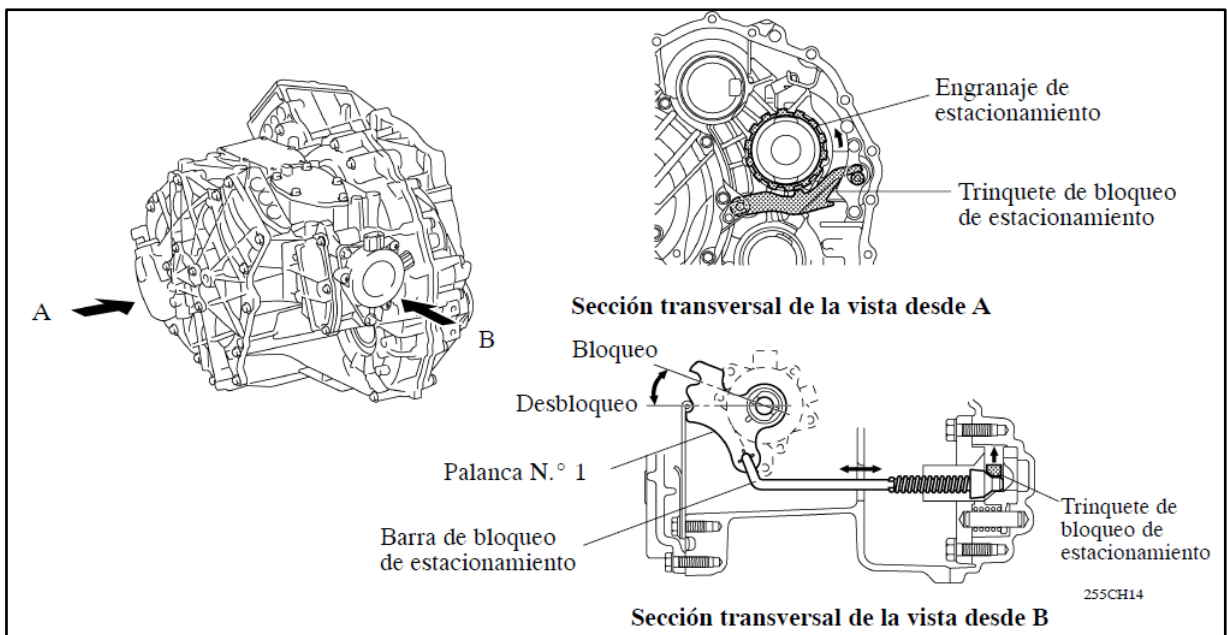


Figura 3. 20 Mecanismo de bloqueo de estacionamiento

(Toyota Technical Training, 2006)

El mecanismo de reducción cicloide asegura la operación deliberación completa del bloqueo de estacionamiento cuando el vehículo se estaciona en una pendiente, donde se requiere mayor par, porque amplifica el par del eje de salida del motor (actuador bloqueo).

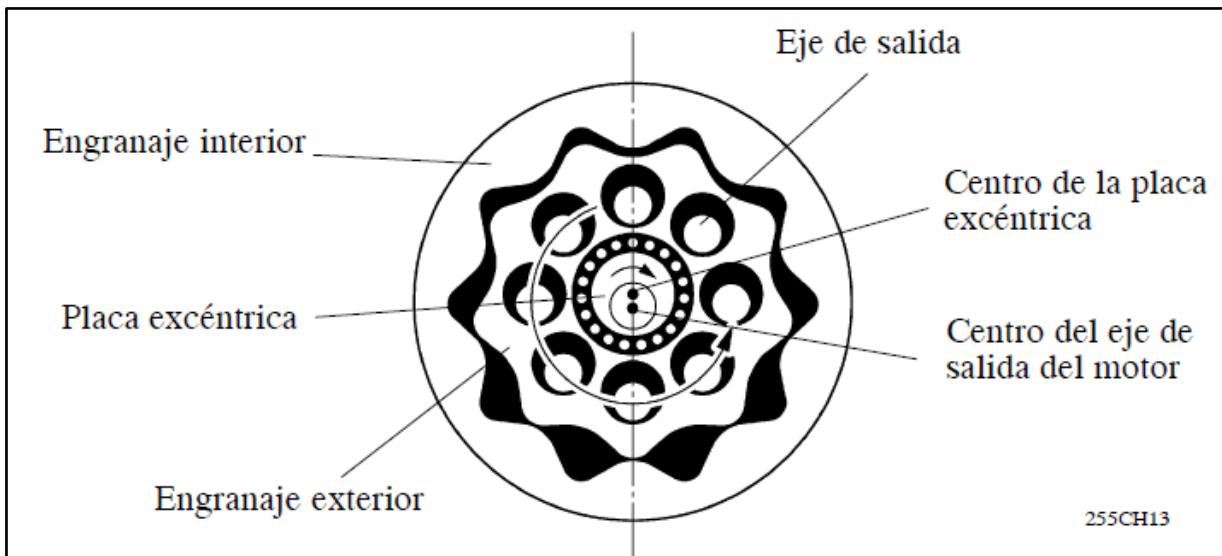


Figura 3. 21 Mecanismo de reducción cicloide

(Toyota Technical Training, 2006)

3.3. CINEMÁTICA DEL MECANISMO

3.3.1. Engranes

Los engranes son ruedas cilíndricas que se utilizan para transmitir el movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro. Los dientes de un engrane conductor encajan con precisión en los espacios entre los dientes del engrane conducido como se ve en la figura 3.11. Los dientes del impulsor empujan a los dientes del impulsado, lo cual constituye una fuerza perpendicular al radio del engrane. Con esto se transmite un par torsional, y como el engranaje es giratorio también transmite potencia. (Robert L. Mott, 2006)

3.3.2. Relación de reducción de velocidad

Con frecuencia se emplean engranes para producir un cambio en la velocidad angular del engrane conducido relativa a la del engrane conductor. En la figura 3.11, el engrane superior menor, llamado piñón, impulsa al engrane inferior mayor, que a veces se llama simplemente engrane; el engrane mayor gira con mayor lentitud.

La cantidad de reducción de velocidad depende de la relación del número de dientes del piñón entre el número de dientes del engrane mayor, de acuerdo con la relación siguiente:

$$N_p/N_g = N_g/N_p$$

Ejemplo:

$$N_g = N_p(N_p/N_g) = (1800 \text{ rpm}) (11/18) = 1100 \text{ rpm}$$

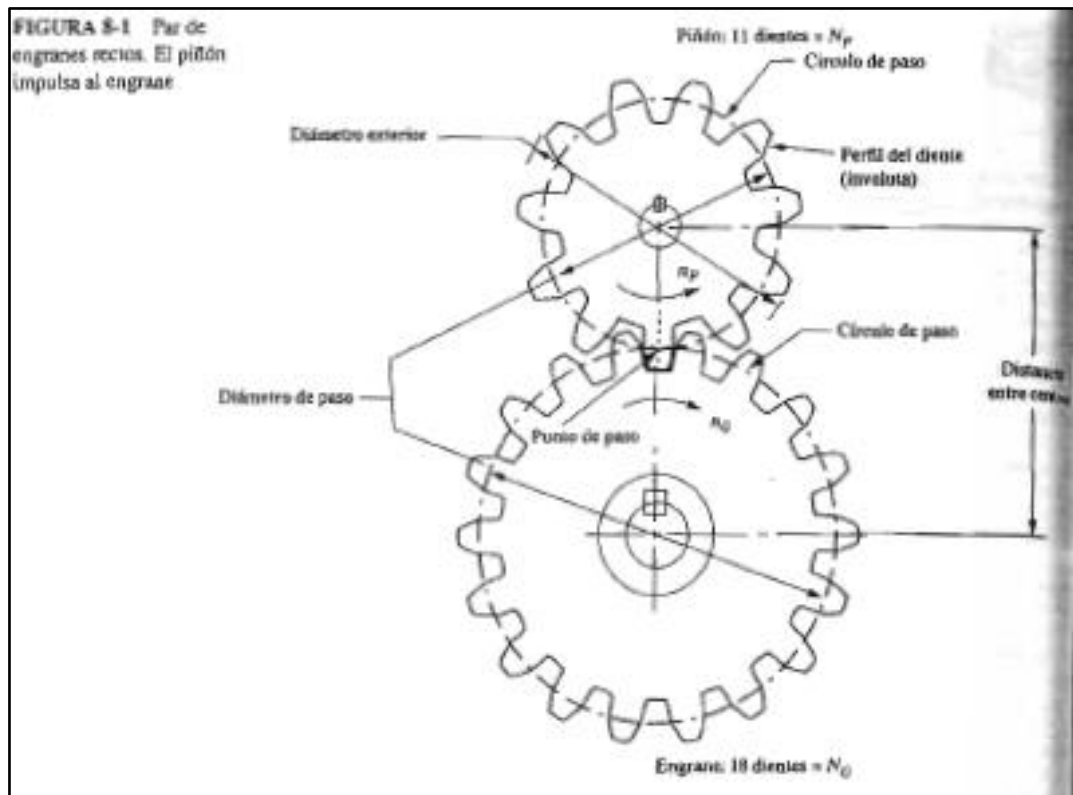


Figura 3 22. Cinemática de los engranes

Robert L. Mott, P. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. Mexico: PEARSON Educación.

3.3.3. Tipos de engranes

Se usan con frecuencia varios tipos de engranes que tienen distintas geometrías de diente, entre los principales se encuentran: rectos, helicoidales, cónicos, conjuntos de tornillos sin fin y corona.

Engranos rectos

Los engranes rectos tienen dientes rectos y paralelos al eje del árbol que los sostiene. La forma curva de las caras de los dientes de engranes rectos tiene una geometría especial llamada "curva involuta". Con esta forma es posible que dos engranes trabajen juntos en una transmisión de potencia uniforme y positiva. (Robert L. Mott, 2006)

Engranos helicoidales

Los dientes de engranes helicoidales forman un ángulo con respecto al eje del árbol. El ángulo se llama ángulo de hélice y puede ser virtualmente cualquier ángulo. Los ángulos típicos van desde 10 a 30°, pero son prácticos hasta de 45°. Los dientes helicoidales trabajan con más uniformidad que los dientes rectos, y los esfuerzos son menores. Una desventaja estos engranes es que se genera una fuerza axial, llamada fuerza de empuje la cual el diseñador debe considerar para que sostengan al eje durante su operación. (Robert L. Mott, 2006)

Engranos cónicos

Los engranes cónicos tienen dientes colocados como elementos sobre la superficie de un cono. Los dientes de engranes tienen colocados como elementos sobre la superficie de un cono. Los dientes de los engranes cónicos rectos parecen semejantes a los del engrane recto, pero tienen lados inclinados entre si, son mas anchos en el exterior y mas estrechos hacia la parte superior del cono. En forma típica operan en ejes de 90° entre si. Cuando se fabrican los engranajes cónicos con

sus dientes con sus dientes formando ángulo de hélice similar al de los engranes helicoidales se les llama "engranes cónicos espirales". (Robert L. Mott, 2006)

Engrane de cremallera

Una cremallera es un engrane en línea recta que se mueve en línea, en vez de girar. Cuando un engrane circular encaja en una cremallera a esta combinación se le llama piñón y cremallera, la cual se ve utilizada en el mecanismo de dirección del automóvil. (Robert L. Mott, 2006)

Tornillo sin fin

Un tornillo sin fin o gusano y su respectiva rueda sin fin trabajan en ejes que forman 90° entre si. En el caso típico tienen una relación de reducción de velocidad bastante grande en comparación con otros tipos de engranes. El sin fin es el impulsor, y su corona es el engranaje impulsado, los dientes del sin fin parecen roscas de tornillo, y en realidad con frecuencia se les llama roscas y no dientes. Los dientes de la corona para el sin fin pueden ser rectos o helicoidales. Una desventaja de la transmisión con sin fin y corona es que tiene una eficiencia mecánica algo menor en comparación a los demás tipos de engranes, porque tienen mucho contacto con frotamiento entre las superficies de las roscas del gusano y los lados del diente de la corona. (Robert L. Mott, 2006)

3.3.4. Nomenclatura y propiedades del diente de engranes rectos

Diámetro de paso

El diámetro de un círculo de paso de un engrane es su diámetro de paso; el punto de tangencia es el punto de paso.

Cuando dos engranes engranan, al menor se le llama piñón y al mayor engrane. Se usará el símbolo D_p para indicar el diámetro de paso del piñón, D_g para el diámetro de paso del engrane. Al referirse al número de dientes, se usará N_p para representar a los del piñón y N_g a los del engrane. (Robert L. Mott, 2006)

Paso

La distancia entre dientes adyacentes y el tamaño de los dientes se controlan mediante el paso de los dientes. Existen tres tipos de indicar el paso que son de uso común en los engranes.

Paso circular

Es la distancia de un punto del diente de un engrane en el círculo de paso al punto correspondiente del siguiente diente, medida a lo largo del círculo de paso, es el paso circular. (Robert L. Mott, 2006)

Paso diametral

Es el sistema de paso que se usa con más frecuencia hoy en los Estados Unidos, igual al número de dientes por pulgada de diámetro de paso. Su definición básica es:

$$Pd = Ng/Dg = Np/Dp$$

Módulo métrico

En el SI, una unidad común de longitud es el milímetro. El paso de los engranes en el sistema métrico se basa en esta unidad y se llama modulo, m. Para determinar el modulo de un engrane se divide el diámetro de paso del engrane, en milímetros, entre el numero de dientes. Esto es:

$$m = Dg/Ng = Dp/Np$$

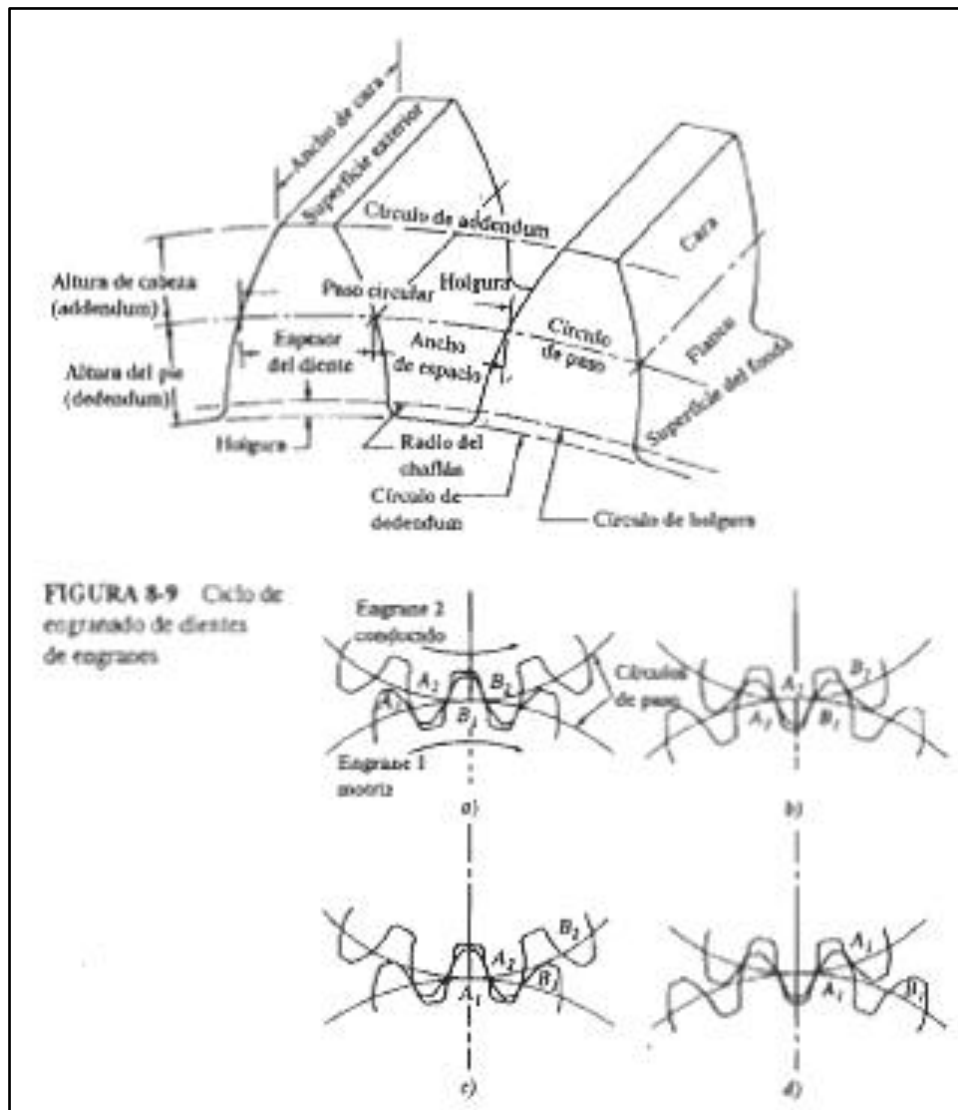


Figura 3.23 Características de los dientes de engranes

Robert L. Mott, P. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. Mexico: PEARSON Educación.

Diámetro exterior (Do)

Es el diámetro exterior del círculo que encierra el exterior de los dientes del engrane.

$$D_o = D + 2a$$

Diámetro de raíz (D_R)

También se llama diámetro de fondo, y es el diámetro del círculo que contiene el fondo del espacio de diente, que es la circunferencia de raíz o círculo de raíz.

$$D_R = D - 2b$$

Altura total (h_t)

También se llama profundidad total, y es la distancia radial del exterior.

$$h_t = a + b$$

Profundidad de trabajo

Es la distancia radial que un diente de engrane se introduce en el espacio entre dientes del engrane correspondiente.

$$h_g = a + a = 2a$$

$$h_t = h_g + c$$

Espesor del diente (t)

Es la longitud del arco, medida en el círculo de paso, de un lado de un diente al otro lado. A veces esto se llama espesor circular y su valor teórico es la mitad del paso circular.

$$t = p/2 = \pi/2pd$$

Espacio entre dientes

Es la longitud del arco, medida desde el lado derecho de un diente hasta el lado izquierdo del siguiente. Teóricamente es igual al espesor del diente, pero por razones prácticas se hace mayor.

Juego

Si el espesor del diente se hiciera idéntico al valor del espacio entre dientes, como lo es en teoría, la geometría del diente debería tener una precisión absoluta para que funcionaran los dientes, y no habría espacio para lubricar las superficies de los dientes. Para resolver estos problemas, los engranes prácticos se fabrican con el espacio entre dientes un poco mayor al espesor del diente, y a la diferencia se le llama juego.

Ancho de la cara (F)

Se le llama también longitud del diente o ancho del flanco. Es el ancho del diente, medido en dirección paralela al eje del diente.

Chaflán

También se llama filete. Es el arco que une el perfil de involuta del diente con la raíz del espacio entre dientes.

Cara

Es la superficie del diente de un engrane, desde el círculo de paso hasta el círculo externo del engrane.

Flanco

Es la superficie del diente de un engrane, desde la raíz del espacio entre dientes incluyendo el chaflán.

Distancia entre centros (C)

Es la distancia del centro del piñón al centro del engrane: es la suma de los radios de paso de los engranes engranados.

$$C = D_g/2 + D_p/2 = (D_g + D_p)/2$$

(Robert L. Mott, 2006)

3.3.5. Propiedades del diente del engrane

Addendum o altura de la cabeza (a)

Es la distancia radial desde el círculo de paso hasta el exterior de un diente.

Dedendum, o altura del pie (b)

Es la distancia radial desde el círculo de paso hasta el fondo del espacio del diente.

Holgura (c)

Es la distancia radial desde el exterior del diente hasta el fondo del hueco entre dientes del engrane opuesto, cuando el diente es totalmente engranado.

$$c = b - a$$

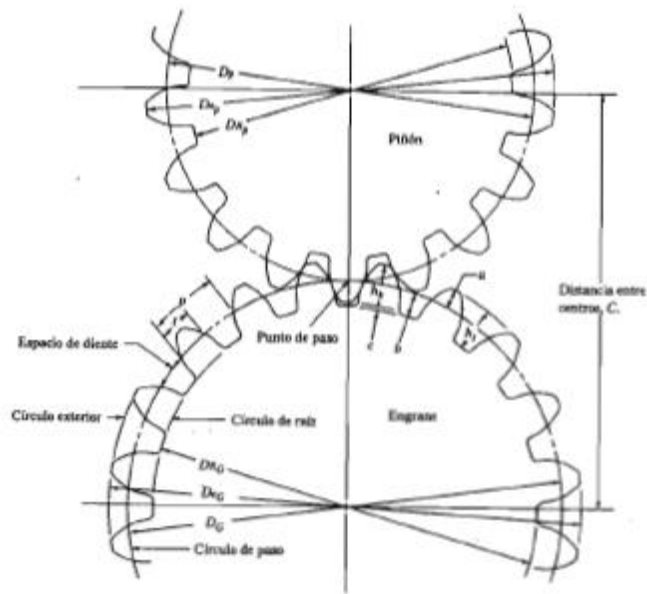


Figura 3.24 Propiedades de pares de engranes

Robert L. Mott, P. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. Mexico: PEARSON Educación.

3.3.6. Angulo de presión

El ángulo de presión es el que forma la tangente a los círculos de paso y la línea trazada normal (perpendicular) a la superficie del diente del engrane.

A veces esta línea normal se la llama línea de acción. Cuando dos dientes están engranados y transmiten potencia, la fuerza que pasa del diente del engrane motriz al del conducido actúa a lo largo de esta línea de acción. (Robert L. Mott, 2006)

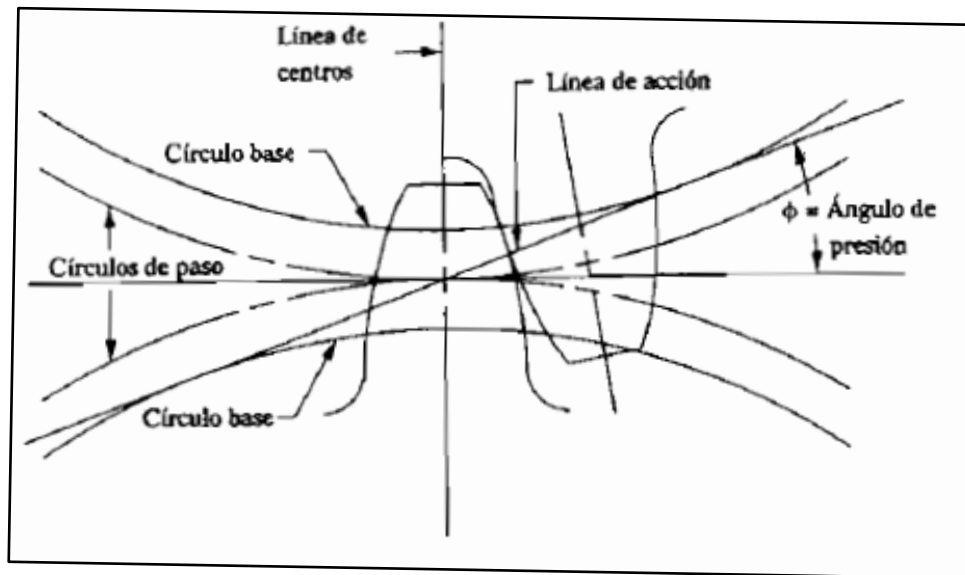


Figura 3.25 Ángulo de presión

Robert L. Mott, P. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. Mexico: PEARSON Educación.

3.3.7. Relación de velocidades y trenes de engranes

Un tren de engranajes es uno o más pares de engranes que trabajan en conjunto para transmitir potencia.

Relación de velocidades

La relación de velocidades (VR) se define como la relación de la velocidad angular del engrane de entrada a la del engrane de salida, para un solo par de engrane.

$$VR = W_p/W_g = R_g/R_p = \text{velocidad}_p / \text{velocidad}_g$$

La mayor parte de las transmisiones con engranes son reductores de velocidad; esto es su velocidad de salida es menor que su velocidad de entrada. Entonces, su relación de velocidades es mayor que 1. Si se desea tener un incrementador de velocidad, entonces VR es menor que 1.

Valor del tren

El valor del tren es el producto de los valores VR para cada par de engranes del tren.

$$TV = (VR_1)(VR_2)$$

Se usara el termino valor positivo del tren para indicar el caso en que los engranes de entrada y salida giren en la misma dirección. Por el contrario, si giran en direcciones contrarias, el valor del tren será negativo. (Robert L. Mott, 2006)

Engrane interno

Un engrane interno es aquel en el que los dientes se tallan en el interior de un anillo en lugar del exterior del engrane modelo.

Los engranes internos se usan cuando se desea tener la misma dirección de rotación en la entrada y salida. También, nótese que se requiere menos espacio para un engrane interno engrane con un piñón externo, que para el engranado de dos engranes externos. (Robert L. Mott, 2006)

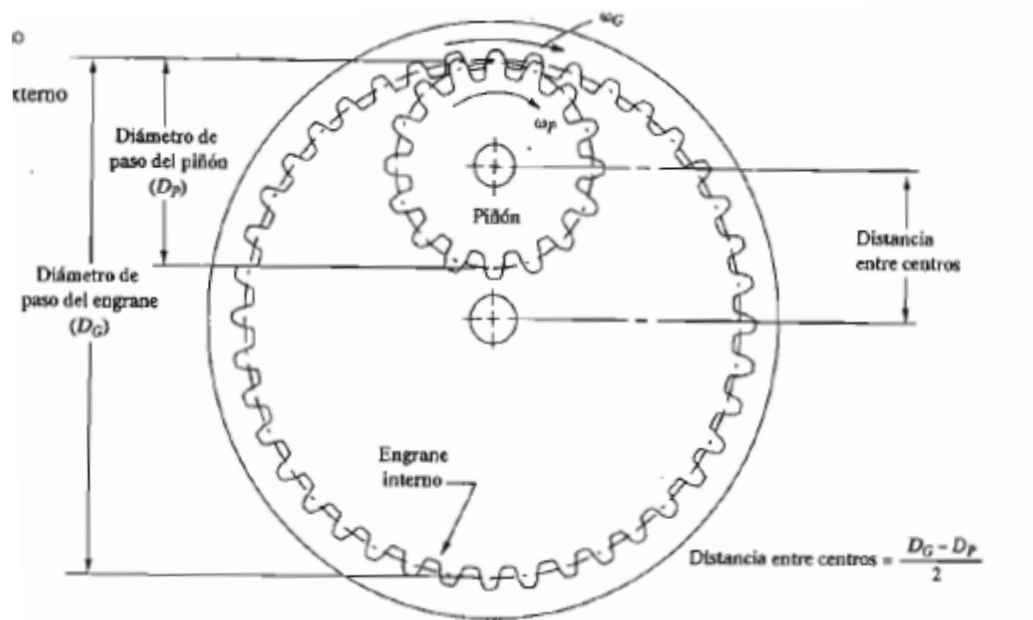


Figura 3.26 Engrane interno impulsado por piñón externo

Robert L. Mott, P. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. Mexico: PEARSON Educación.

3.3.8. Engranajes planetarios

Los engranajes planetarios simples están formados por un piñón planetario, una rueda con dentado interior y un perfil con piñones satélites que pueden estar en accionamiento, salida de fuerza o fijos. La distribución coaxial de los tres elementos permite una combinación ventajosa con embragues y frenos de fricción para una unión o sujeción alternativa de estos elementos. Las modificaciones de desmultiplicación a alcanzar con esto se pueden conmutar bajo carga. Esta propiedad se utiliza principalmente en cambios automáticos. (Bosch, 2005)

Como bajo carga están engranadas paralelamente varias ruedas dentadas, los engranajes planetarios son elementos muy compactos. No tienen fuerzas de cojinete libres, permiten pares de giro elevados, derivación o sumas de potencias y tienen un rendimiento muy elevado. (Bosch, 2005)

Tabla 3.2 Engranaje planetario con variantes de desmultiplicación

Engranaje planetario con variantes de desmultiplicación.

A Piñón planetario, B Rueda con dentado interior, C Perfil con piñones satélites,
Z Cantidad de dientes.

Ecuación básica del engranaje planetario: $n_A + (Z_B / Z_A) \cdot n_B - [1 + Z_B / Z_A] \cdot n_C = 0$

Entra- da	Salida	Fijo	Desmultipl.	Observación
A	C	B	$i = 1 + Z_B / Z_A$	$2,5 \leq i \leq 5$
B	C	A	$i = 1 + Z_A / Z_B$	$1,25 \leq i \leq 1,67$
C	A	B	$i = \frac{1}{1 + Z_B / Z_A}$	$0,2 \leq i \leq 0,4$ marcha rápida
C	B	A	$i = \frac{1}{1 + Z_A / Z_B}$	$0,6 \leq i \leq 0,8$ marcha rápida
A	B	C	$i = -Z_B / Z_A$	Cambio estacionario con inversión de sentido de giro $-0,4 \leq i \leq -1,5$
B	A	C	$i = -Z_A / Z_B$	Cambio estacionario con inversión de sentido de giro $-0,25 \leq i \leq -0,67$

Bosch, R. (2005). *MANUAL TECNICA DEL AUTOMOVIL*. Alemania: 4ta edición .

3.3.9. Cálculo de relaciones de transmisión sistema planetario

$$Z_A = 46$$

$$Z_B = 110$$

Entrada	Salida	Fijo	Desmultipl.
Solar (A)	Porta – satélites (C)	Corona (B)	$i = 1 + Z_B/Z_A$ $i = 1 + 110/46$ $i = 3,39$
Corona (B)	Porta – satélites (C)	Solar (A)	$i = 1 + Z_A/Z_B$ $i = 1 + 46/110$ $i = 1,41$
Porta – satélites (C)	Solar (A)	Corona (B)	$i = \frac{1}{1 + Z_B/Z_A}$ $i = \frac{1}{1 + 110/46}$ $i = 0,29$
Porta – satélites (C)	Corona (B)	Solar (A)	$i = \frac{1}{1 + Z_A/Z_B}$ $i = \frac{1}{1 + 46/110}$ $i = 0,7$
Solar (A)	Corona (B)	Porta – satélites (C)	$i = - Z_B/Z_A$ $i = - 110/46$ $i = - 2,39$
Corona (B)	Solar (A)	Porta – satélites (C)	$i = - Z_A/Z_B$ $i = - 46/110$ $i = - 0,4$

Elaborado: José Acosta J.

Fuente: (Bosch, 2005)

3.4. TRANSMISION DE POTENCIA Y TORQUES

El sistema híbrido es un tipo de tren de transmisión que emplea una combinación de dos tipos de fuerzas motrices, como por ejemplo un motor de gasolina y un motor eléctrico [MG2 (Motor Generador No.2 – generador de motor N.º2)]. Este sistema se caracteriza por su empleo eficaz de los dos tipos de fuerzas

motrices de acuerdo con las condiciones de circulación. Complementa los puntos débiles de las fuerzas motrices entre sí para maximizar la fuerza motriz del vehículo.

El Toyota Prius se impulsa mediante una nueva generación del Sistema híbrido Toyota, denominado “THS-II”, que ha sido desarrollado bajo un concepto de “Conducción de sinergia híbrida” para lograr un mejor rendimiento para el medio ambiente y conseguir una sensación de “disfrute de la conducción”. Bajo este concepto, el THS-II ha conseguido significantes avances en los sistemas de control, que buscan la sinergia entre la potencia del motor eléctrico y la potencia del motor de gasolina. Reforzando en gran medida la tensión de la alimentación, este sistema consigue un alto nivel de equilibrio entre rendimiento para el medio ambiente y potencia. (Toyota Technical Training, 2006)

3.4.1. Tablas de rendimiento

3.4.1.1. Motor de gasolina

Tabla 3.3 Rendimiento motor gasolina

Modelo	Nuevo Prius	Prius anterior
Tipo	1NZ-FXE Motor de ciclos de alta relación de expansión, certificado por el Paso IV Europeo	1NZ-FXE Motor de ciclos de alta relación de expansión, certificado por el Paso IV Europeo
Cilindrada	1497 cm ³	1497 cm ³
Salida máx.	57 kW/5000 rpm*	53 kW/4500 rpm
Par máx.	115 N·m/4000 rpm*	115 N·m/4200 rpm

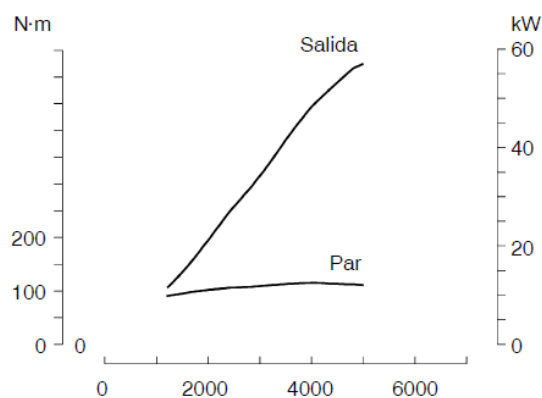
3.4.1.2. Motor y generador

Tabla 3.4 Rendimiento Motor eléctrico y generador

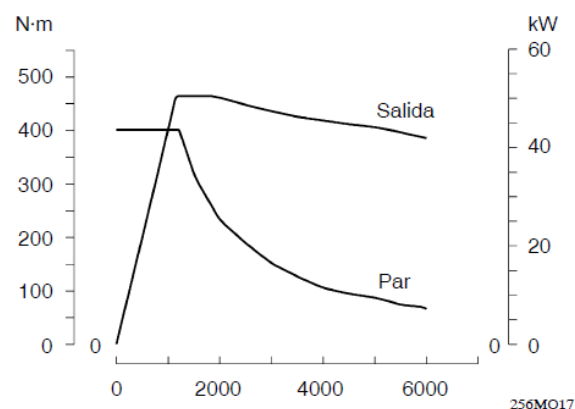
Elemento	MG1	MG2	
		Nuevo	Anterior
Tipo	Motor de imán permanente	Motor de imán permanente	Motor de imán permanente
Función	Generación, motor de arranque	Generación, ruedas motrices	Generación, ruedas motrices
Tensión nominal [V]	CA 500	CA 500	CA 273,6
Salida máxima kW (CV)/(rpm)	—	50 (68)/(1200 ~ 1540)	33 (45)/(1040 ~ 5600)
Par máximo N·m/(rpm)	—	400/(0 ~ 1200)	350/(0 ~ 400)

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

3.4.2. Curvas de rendimiento



Curva de rendimiento del motor de gasolina



Curva de rendimiento del motor eléctrico

Figura 3.27 Curvas de rendimiento motores

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

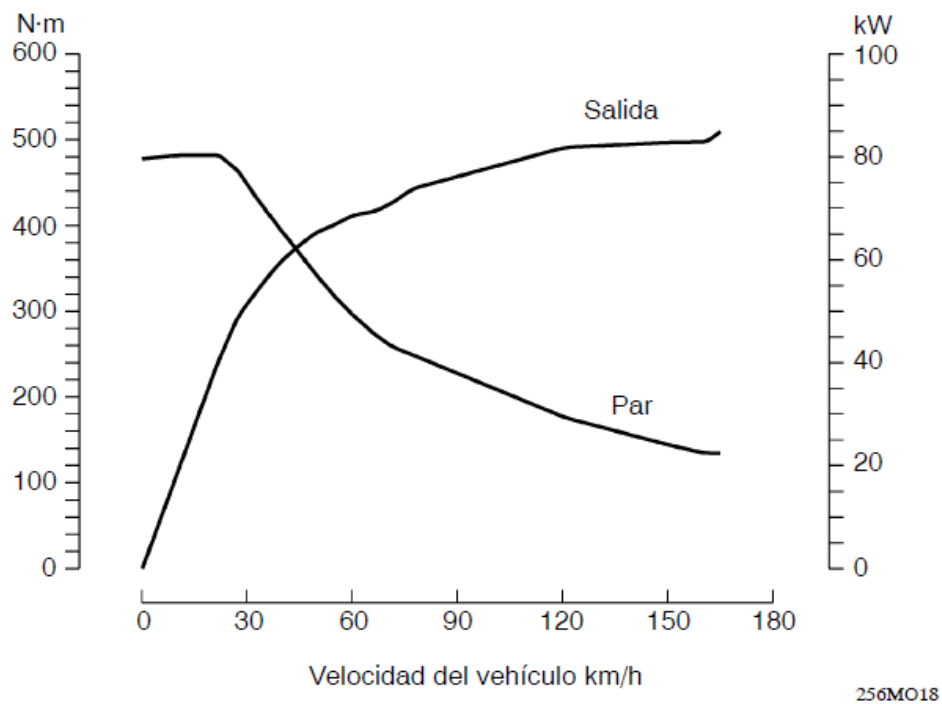


Figura 3.28 Curva de rendimiento del sistema

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

3.4.3. Modos de control

El sistema híbrido utiliza varios modos de control para lograr el más eficiente funcionamiento en respuesta a las condiciones de conducción.

3.4.3.1. Detención

Si el vehículo está totalmente cargado y que no se mueve, el motor térmico puede detenerse y se pondrá en marcha automáticamente cuando la batería de alto voltaje necesita carga.

Además si el A / C se encuentra en posición MAX en un Prius 2001 - 2003, el motor térmico funcionará de forma continua debido a que el compresor del A / C es

accionado por el mismo. Para modelos Prius 2004 en adelante utiliza un compresor eléctrico.

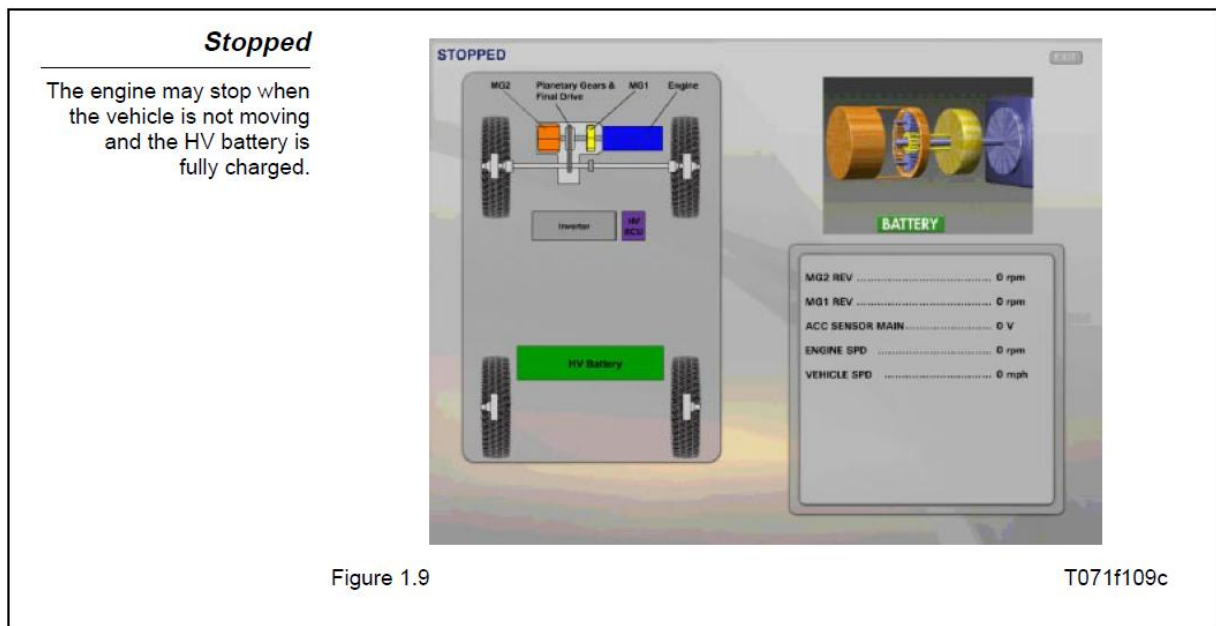


Figura 3.29 Detención

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

3.4.3.2. Iniciando

Al comenzar con una carga y aceleración ligera, sólo MG2 da vueltas para proporcionar energía. El motor térmico no funciona y el vehículo funciona en energía eléctrica solamente. MG1 gira hacia atrás y sólo funciona a ralentí; no genera electricidad.

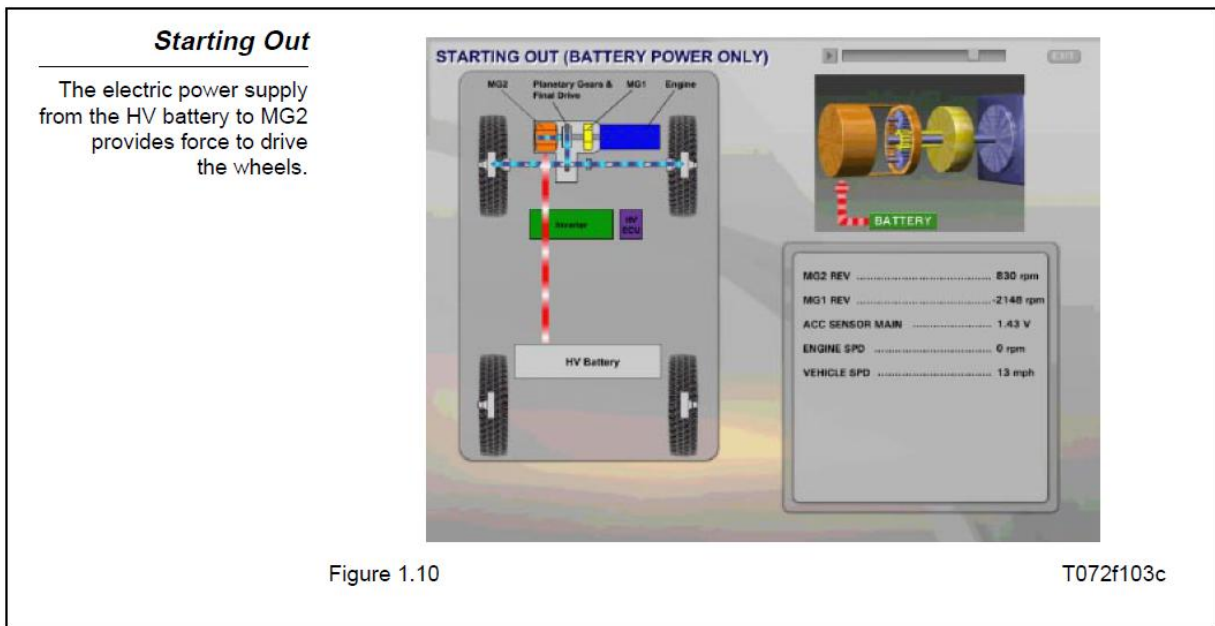


Figura 3.30 Iniciando

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

3.4.3.3. Conducción Normal

En condiciones normales de conducción a baja velocidad (15 - 40 mph), el motor térmico se encuentra funcionando y proporciona energía. MG2 da vuelta y funciona como motor proporcionando una asistencia eléctrica. MG1 gira en la misma dirección por el motor térmico y actúa como generador para proporcionar electricidad a MG2.

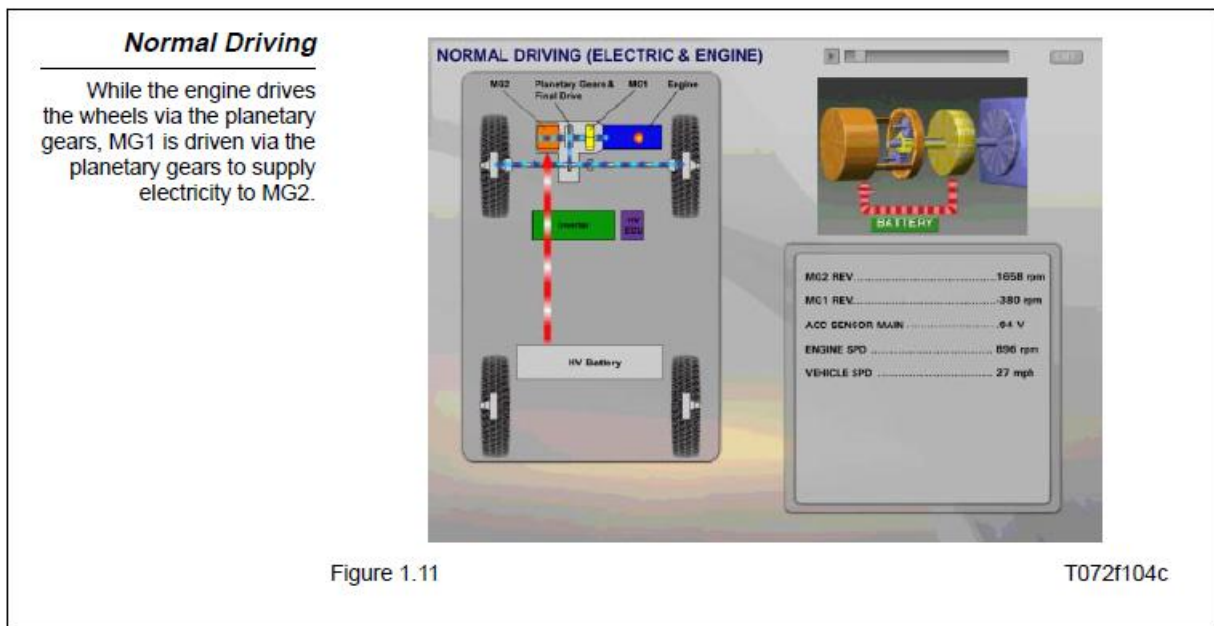


Figura 3.31 Conducción normal

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

3.4.3.4. Aceleración fuerte y velocidad crucero alta

Para máxima aceleración o velocidades superiores (más de 100 mph), el motor eléctrico MG2 ayuda al motor térmico para obtener el máximo de potencia. La batería HV proporciona electricidad a MG2. MG1 también recibe energía eléctrica de la HV batería y gira en la dirección inversa para crear una relación de sobremarcha para la velocidad máxima.

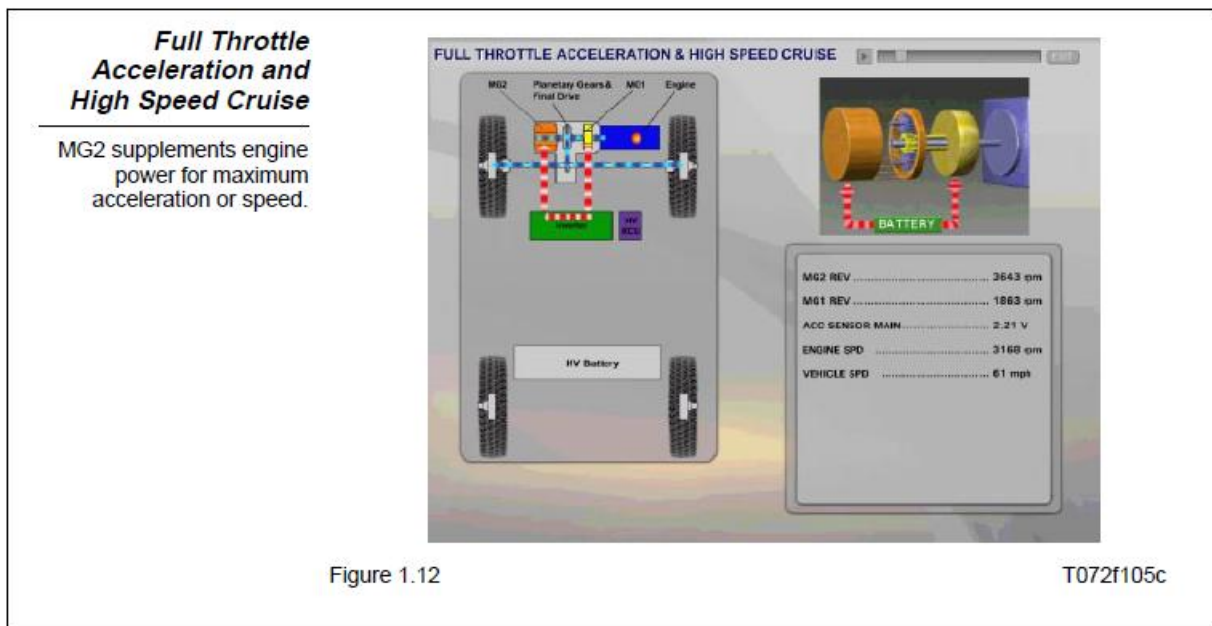


Figura 3.32 Aceleración fuerte y velocidad crucero alta

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

3.4.3.5. Desaceleración y frenado

Tan pronto como el conductor suelta el pedal del acelerador MG2 se convierte en un generador, MG2 es girado por las ruedas de tracción y genera electricidad para recargar la batería de alto voltaje. Este proceso se llama frenado regenerativo, a medida que el vehículo decelera, el motor térmico deja de funcionar y MG1 gira hacia atrás para mantener la relación de engranaje.

Cuando el pedal de freno es presionado la mayor fuerza de frenado inicial proviene del frenado regenerativo, de esta manera la energía cinética de las ruedas

se recupera y se convierten en a energía eléctrica por medio de MG2. Los frenos hidráulicos proporcionar energía adicional para detener el vehículo en su totalidad.

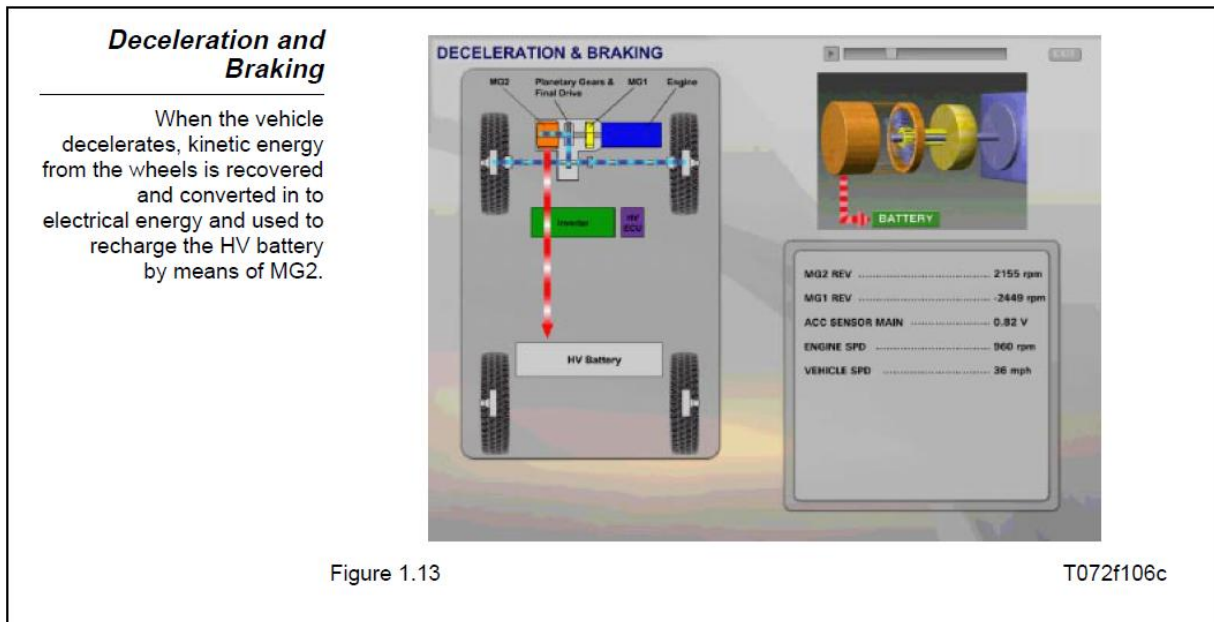


Figura 3.33 Desaceleración y frenado

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

CAPITULO 4

CONSTRUCCION DEL MODELO

El modelo a construirse se basa en un sistema de engranajes planetarios el cual es muy común encontrarlo en transmisiones automáticas y que actualmente se lo esta usando en el sistema de transmisión de vehículos híbridos como es el caso del modelo prius de la marca Toyota con el modelo de transmisión PSD (Power Split Device) , en el que se lo usa para la conexión y desconexión de tres fuerzas propulsoras que son: el motor térmico, el motor generador 1(MG1) y el motor generador 2 (MG2).

El sistema a construirse es un modelo didáctico realizado en material Nylon 6 - 10 conocido comercialmente como duralón el mismo que presenta características favorables para el uso que se le va a dar a este mecanismo. En este modelo se puede observar el flujo de fuerza mediante los engranes los cuales los vamos a observar y manipular los distintos modos de control del sistema de transmisión hibrido lo cual facilita el entendimiento y capacitación de estudiantes universitarios y profesionales en el área.

Para la construcción de este mecanismo se requirió de un centro de mecanizado CNC, torno, fresadora,etc.

4.1. CONSTRUCCION

4.1.1. Plataforma base

Es la base de los elementos del sistema de engranajes planetario, tiene como función alojar, brindar rigidez para el ensamblaje y operación del mecanismo. Como podemos observar en las imágenes inferiores al momento del maquinado en el CNC. Fabricado en Nylon 6 – 10 (duralón).

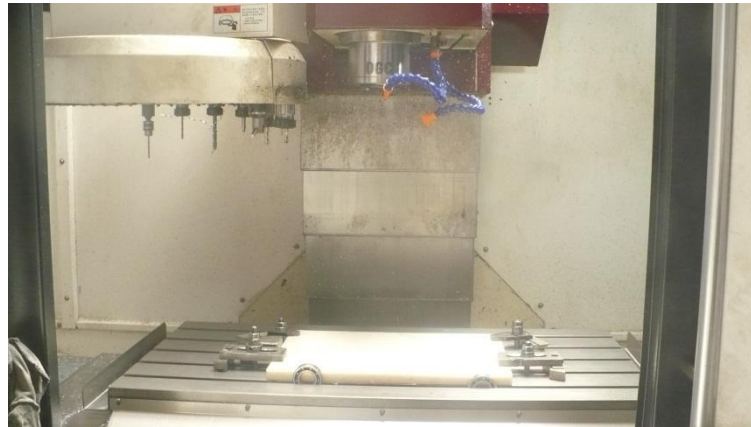


Figura 4.1 Proceso maquinado

Acosta, José. (2012)

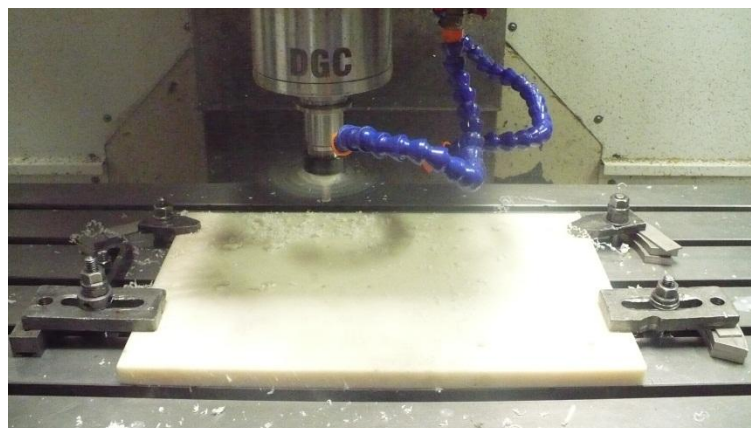


Figura 4.2 Proceso maquinado

Acosta, José. (2012)

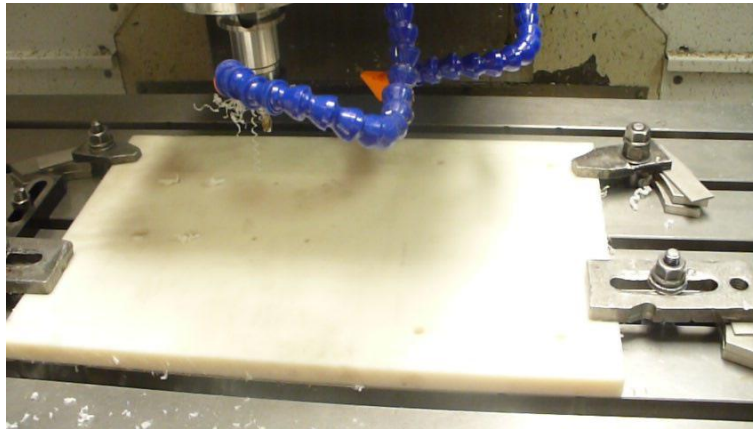


Figura 4.3 Proceso maquinado

Acosta, José. (2012)

4.1.2. Corona motriz

Este elemento robusto similar a una orbita ya que encierra a todos los elementos del sistema epicicloidal, como podemos apreciar en la figura posee un dentado exterior y uno interno aparte del alojamiento central en el cual va ensamblada la manzana. Su modo de operación se encuentra en conexión directa con MG2 y por el dentado exterior con los piñones reductores que llevan a la rueda motriz. Fabricada en Nylon 6 – 10 (duralón).

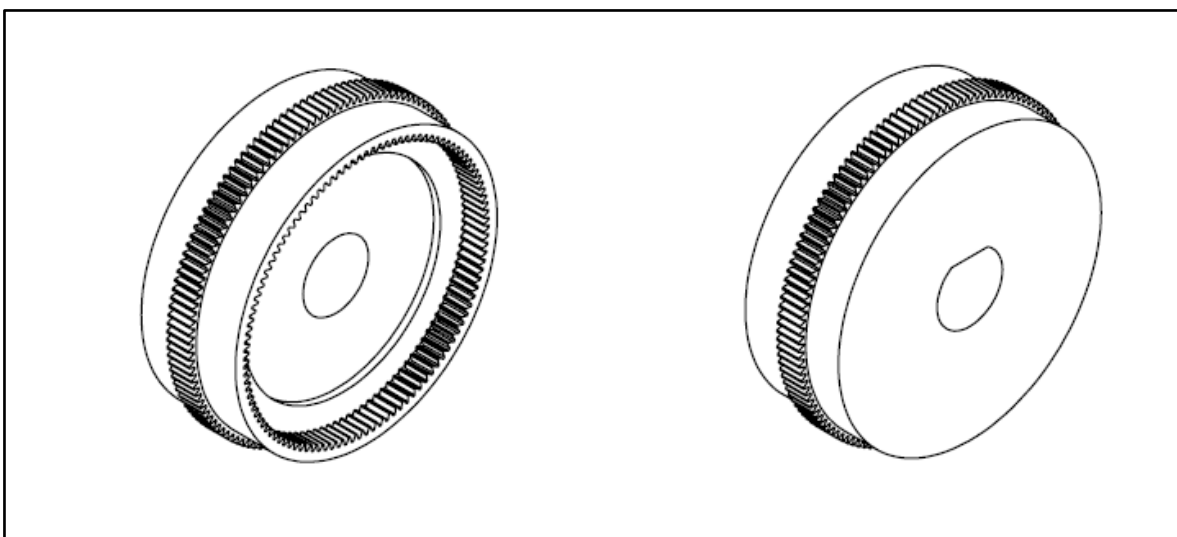


Figura 4. 4 Corona vista lateral

Realizado en Solidworks (2011).



Figura 4.5 Maquinado dentado interno

Acosta, José. (2012)

4.1.3. Satélite y porta satélites

Son cuatro engranajes satélites que rodean al engranaje planeta central o solar, se encuentra alojados en el disco porta satélites en el mismo que tienen un eje independiente para cada elemento y sobre el cual giran. Aparte de esto cabe considerar que el movimiento del conjunto (satélites/ porta satélites) ingresa por el eje central de acero en conexión directa al disco y en sus extremo exterior a una manija que representa al ICE (motor de combustión interna). Fabricada en Nylon 6 – 10 (duralón).



Figura 4. 7 Disco de satélites



Figura 4. 6 Disco de satélites



Figura 4. 8 Piñón satélite

Acosta, José. (2012)

4.1.4. Piñón solar

Se denomina piñón solar o engranaje planeta, se encuentra en el centro del sistema epicicloidal y a su alrededor giran los engranajes satélites bastante parecido a un sistema solar y de ahí su nombre con la diferencia que los satélites son iguales en dimensiones. Esta compuesto de un eje de acero el cual descansa en el alojamiento de la manzana de la corona y mantiene en suspensión al sistema epicicloidal. Esta fabricado en Nylon 6 – 10 (duralón).

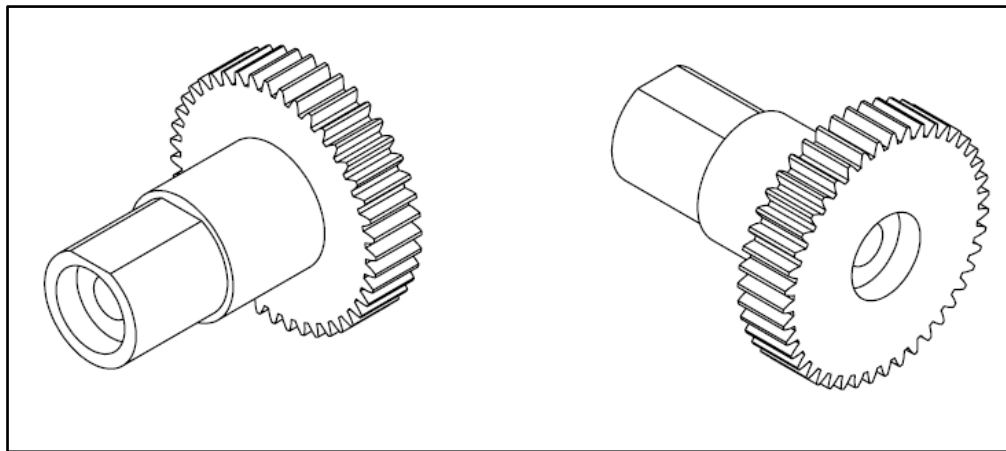


Figura 4.9 Engranaje solar

Realizado en Solidworks (2011).



Figura 4.10 Engranaje solar

Acosta, José. (2012)

4.1.5. Disco de accionamiento piñón solar

Este elemento de accionamiento se encuentra solidario al piñón solar mediante ensamble y es el cargado dar el giro al piñón solar o planeta como lo haría el MG1, esta fabricado en Nylon 6 – 10 (duralón).

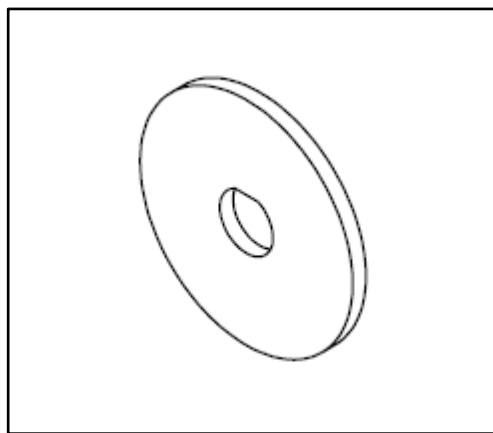


Figura 4. 11 Disco de accionamiento piñón solar



Figura 4.12 Disco de accionamiento piñón solar VF

Acosta, José. (2012)

4.1.6. Manzana de la corona y ejes de piñones reductores

Sirve de soporte de la corona y a su vez aloja al eje del cuerpo correspondiente al piñón solar, como se puede apreciar en la figura tiene un destaje el cual permite el ensamble corona – manzana, esta fabricada en Nylon 6 – 10 (duralón).

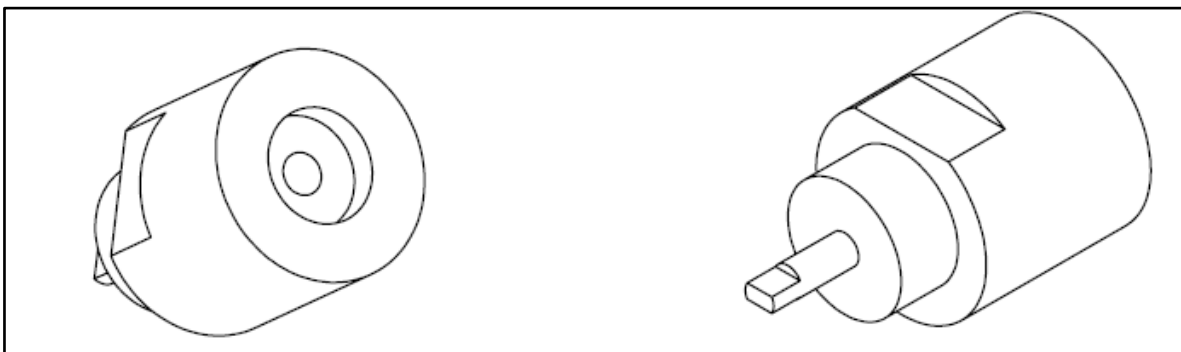


Figura 4.13 Manzana corona

Realizado en Solidworks (2011).

Los ejes para el piñón solar y piñones reductores están elaborados en acero, también poseen un destaje para su ensamblado con el respectivo piñón.

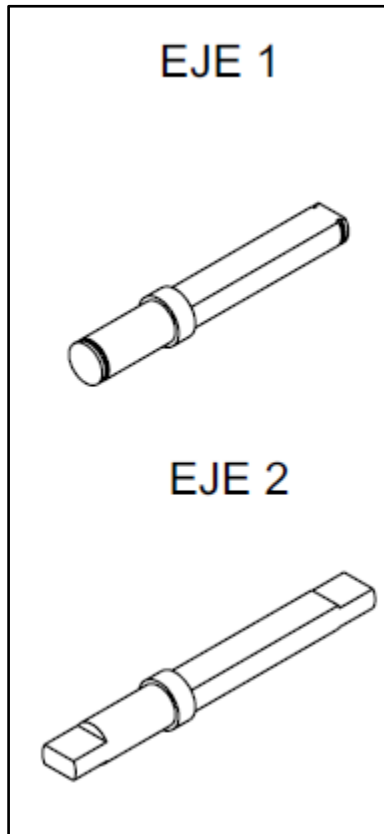


Figura 4.14 Ejes

Realizado en Solidworks (2011).

4.1.7. Piñones reductores

Los piñones reductores reciben y a su vez envían de acuerdo a la fase de funcionamiento, el movimiento de la rueda motriz a los motores de propulsión.

Consta de dos ruedas fabricadas en Nylon 6 – 10 (duralón), como podemos ver en la figura se encuentra en el proceso de perforación para el alojamiento de su respectivo eje.



Figura 4.15 Maquinado piñones reductores

Acosta, José. (2012)

4.1.8. Bastidor corona motriz

Esta provisto de dos soportes fabricados los cuales son los encargados de mantener suspendido al sistema epicicloidal, el material usado para estos elementos es aluminio.



Figura 4.16 Bastidor corona motriz

Acosta, José. (2012)

4.1.9. Bastidor piñones reductores



Figura 4.17 Bastidor piñones reductores

Acosta, José. (2012)

4.1.10. Manijas de accionamiento

El modelo esta compuesto de tres manijas rotatorias elaboradas en Nylon, son las que permiten simular los distintos modos de control o flujos de fuerza con los que trabaja el vehículo hibrido en su transeje.



Figura 4.18 Maquinado manija accionamiento

Acosta, José. (2012)

4.1.11. Rueda motriz

Representa la conexión directa del neumático con la superficie de la carretera, el transeje final recibirá flujo de fuerza indistintamente por parte del motor de combustión interna o los motores eléctricos (MG1 y MG2) y la vez también actuara

como impulsor para el sistema de frenos regenerativos encargados de cargar las baterías.



Figura 4.19 Rueda motriz

Acosta, José. (2012)

4.1.12. Propiedades del material

Propiedades Nailon 6/10

El material utilizado en la mayor parte de las piezas que conforman el modelo de transmisión híbrido es un termoplástico conocido comercialmente como duraron; proporcionando una buena resistencia mecánica, resistencia al desgaste. Es usado en partes estructurales, aparatos mecánicos como engranajes, cojinetes, y en piezas que requieren resistencia al desgaste. Entre las ventajas que tiene este material esta

su densidad la cual a diferencia del acero es considerablemente menor, favoreciendo al fácil manejo y transporte del mecanismo.

4.1.13. Rodamientos

El rodamiento a usarse en este modelo es un rodamiento rígido de bolas el cual es usado en una gran variedad de aplicaciones. Son capaces de operar en altas e incluso muy altas velocidades y requieren poca atención o mantenimiento en servicio. Estas características, unidas a su ventaja de precio, hacen a estos rodamientos los más populares y aptos para el modelo.



Figura 4.20 Rodamientos HBL 6200RS

Acosta, José. (2012)

4.2. PRUEBAS EN LABORATORIO (SOLIDWORKS)

En las siguientes pruebas de laboratorio realizadas en el programa Solidworks; el cual proporciona diversos criterios para evaluar la seguridad del diseño. Mediante la herramienta de simulación se evaluara tensiones, desplazamientos, deformaciones unitarias y factor de seguridad de cada uno de los engranajes del sistema planetario.

La simulación en Solidworks permite utilizar el criterio de máxima tensión de von Mises, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima. La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión.

Mediante el PropertyManager trazado de desplazamiento permite trazar desplazamientos y resultados de fuerza de reacción para estudios estáticos, no lineales, dinámicos y de caída o formas modales para estudios de pandeo y de frecuencia.

El PropertyManager trazado de deformaciones unitarias permite trazar los resultados de las deformaciones unitarias para estudios estáticos, no lineales, de historia-tiempo modal y de caída.

4.2.1. Análisis piñón solar

Tabla 4. 1 Información de modelo – piñón solar

Información de modelo

 Nombre del modelo: Piñón solar Configuración actual: JIS - Spur gear 2M 40T 20PA 20FW ---S40A75H50L10N			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Extruir6 	Sólido	Masa:0.207899 kg Volumen:0.000185624 m ³ Densidad:1120 kg/m ³ Peso:2.03741 N	D:\JOSE ACOSTA\piñón solar.SLDPRT Jul 16 17:18:09 2012

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/mm ² (MPa)

Tabla 4. 2 Propiedades de material - piñón solar

Propiedades de material

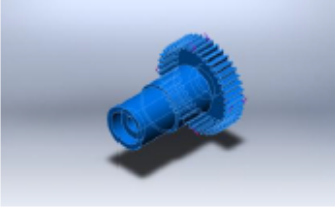
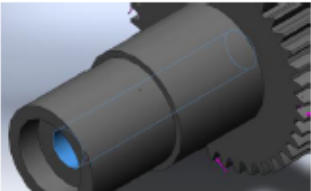
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: $1.03649 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $9 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $2.62 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0.34 Densidad: 1120 kg/m^3 Módulo cortante: $9.704 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	Sólido 1 (Extruir6)(Piñón solar)
Datos de curva:N/A		

Tabla 4. 3 Cargas y sujeciones – piñón solar

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-0.018175	-0.00762939	0.00223541	0.0198377	
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0	

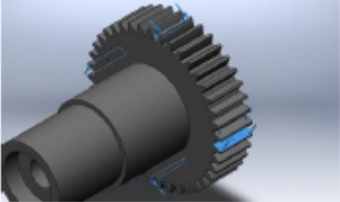
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 10000 N			

Tabla 4. 4 Fuerzas y momentos de reacción – piñón solar

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.018175	-0.00762939	0.00223541	0.0198377

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N-m	0	0	0	0

Tabla 4. 5 Información de la malla – piñón solar

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	2.85303 mm
Tolerancia	0.142651 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

4.2.1.1. Tensiones

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.000685964 N/mm ² (MPa) Nodo: 84744	404.452 N/mm ² (MPa) Nodo: 74458

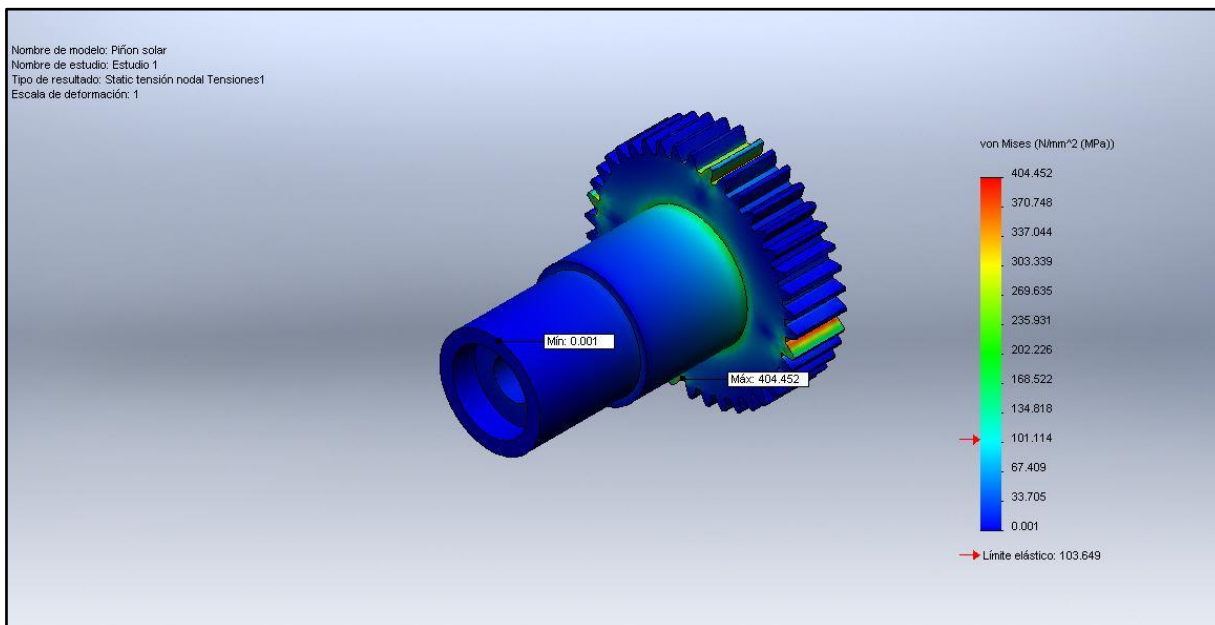


Figura 4. 21 Tensiones piñon solar

Realizado en Solidworks (2011).

En la figura se observa que los dientes del engranaje solar están sometidos a carga en las regiones que presentan mayor tensión, siendo que la mayor tensión encontrada se encuentra inferior al límite de ruptura.

4.2.1.2. Desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1121	5.12872 mm Nodo: 66410

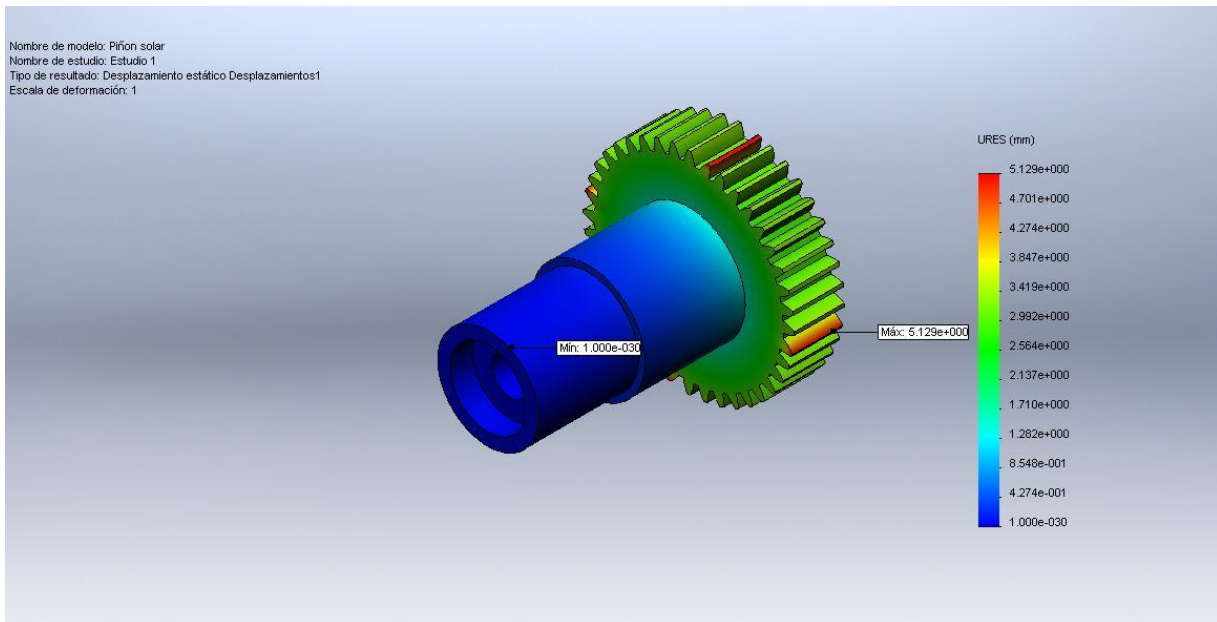


Figura 4. 22 Desplazamientos piñón solar

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa un desplazamiento mínimo correspondiente a la carga de 10000 [N], siendo este perfectamente distribuido por todo el material, su valor máximo encuentra en las zonas cargadas.

4.2.1.3. Deformaciones unitarias

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8.56503e-007 Elemento: 57277	0.119604 Elemento: 9383

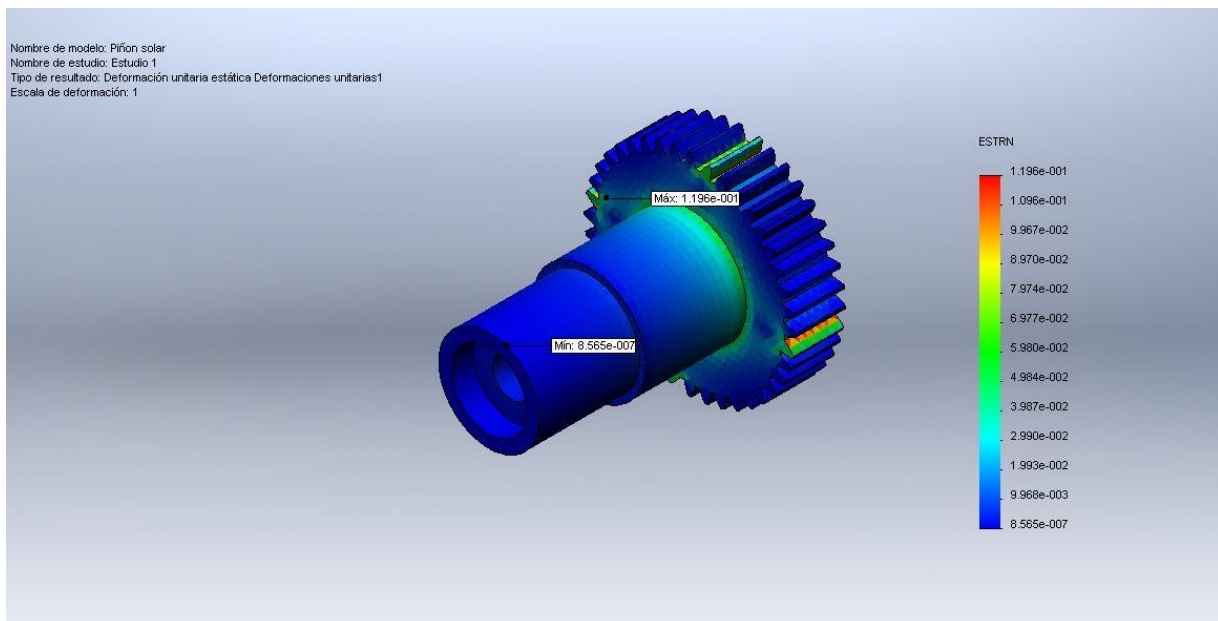


Figura 4. 23 Deformaciones unitarias piñón solar

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa una deformación aceptable producto de las cargas, siendo las zonas cargadas las más afectadas.

4.2.1.4. Factor de seguridad

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	0.25627 Nodo: 74458	151100 Nodo: 84744

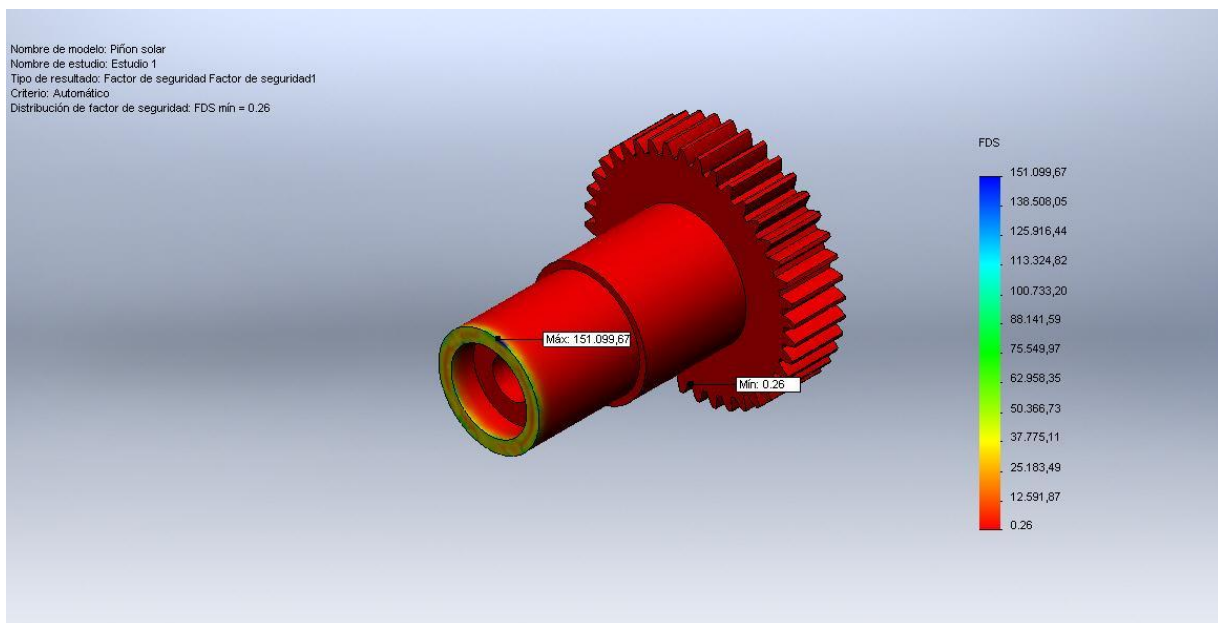


Figura 4. 24 Factor de seguridad piñón solar

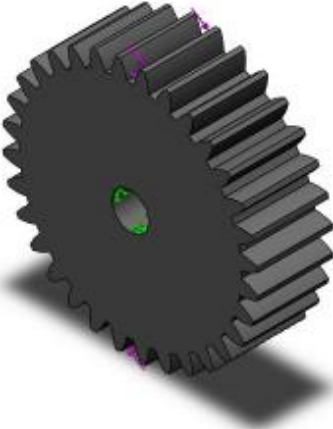
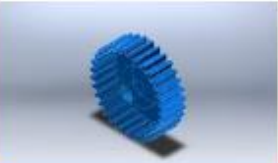
Realizado en Solidworks (2011).

El factor de seguridad se encuentra en un rango aceptable de acuerdo a las cargas actuantes en este tipo de material.

4.2.2. Análisis piñón satélite

Tabla 4. 6 Información de modelo – piñón satélite

Información de modelo

 Nombre del modelo: Piñón satélite Configuración actual: JIS - Spur gear 2M 32T 20PA 20FW ---S32A75H50L10N			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Extruir1 	Sólido	Masa:0.0625262 kg Volumen:5.5827e-005 m ³ Densidad:1120 kg/m ³ Peso:0.612757 N	D:\JOSE ACOSTA\Piñón satélite.SLDPRT May 24 11:51:52 2012

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/mm ² (MPa)

Tabla 4. 7 Propiedades del material – piñón satélite

Propiedades de material

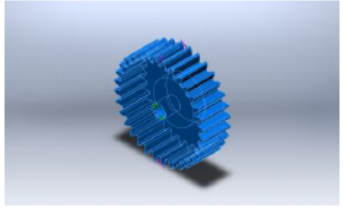
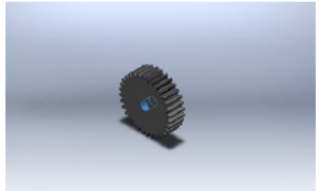
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 1.03649e+008 N/m² Límite de tracción: 9e+007 N/m² Módulo elástico: 2.62e+009 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.34 Densidad: 1120 kg/m³ Módulo cortante: 9.704e+008 N/m²	Sólido 1 (Extruir1)(Piñón satélite)
Datos de curva:N/A		

Tabla 4. 8 Cargas y sujeciones - piñón satélite

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija

Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.0830424	0.0195847	0.105033	0.13532
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

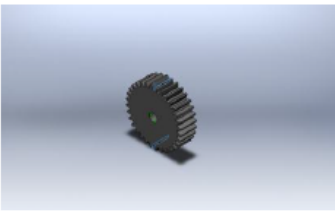
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 1000 N

Tabla 4. 9 Fuerzas y momentos de reacción - piñón satélite

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.0830424	0.0195847	0.105033	0.13532

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N-m	0	0	0	0

Tabla 4. 10 Información de la malla - piñón satélite

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	1.91158 mm
Tolerancia	0.0955791 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

4.2.2.1. Tensiones

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.0026147 N/mm ² (MPa) Nodo: 1358	62.3004 N/mm ² (MPa) Nodo: 259

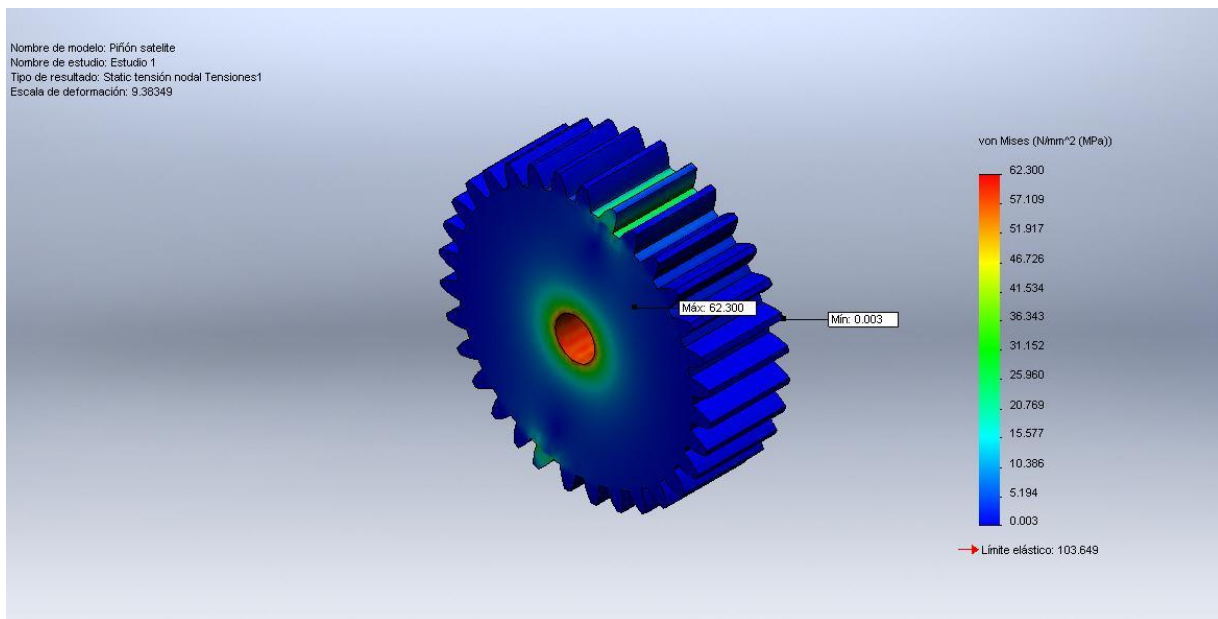


Figura 4. 25 Tensiones piñón satélite

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa que los dientes del piñón satélite están sometidos a carga en las regiones que presentan mayor tensión, siendo la mayor tensión encontrada muy inferior al límite de ruptura.

4.2.2.2. Desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 203	0.725549 mm Nodo: 2149

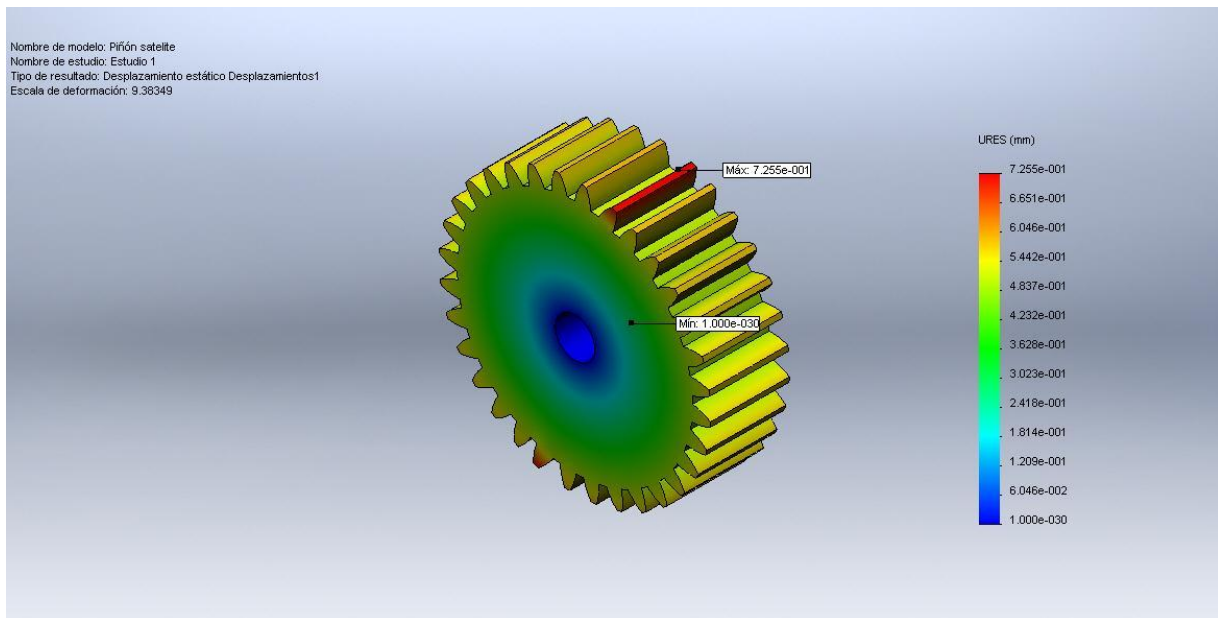


Figura 4. 26 Desplazamientos piñón satélite

Realizado en Solidworks (2011).

En el grafico superior se observa un desplazamiento, mínimo producto de la carga aplicada de 1000 [N]. siendo este perfectamente distribuido por todo el material, su valor máximo encuentra en las zonas cargadas.

4.2.2.3. Deformaciones unitarias

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.59425e-006 Elemento: 9270	0.0185793 Elemento: 12600

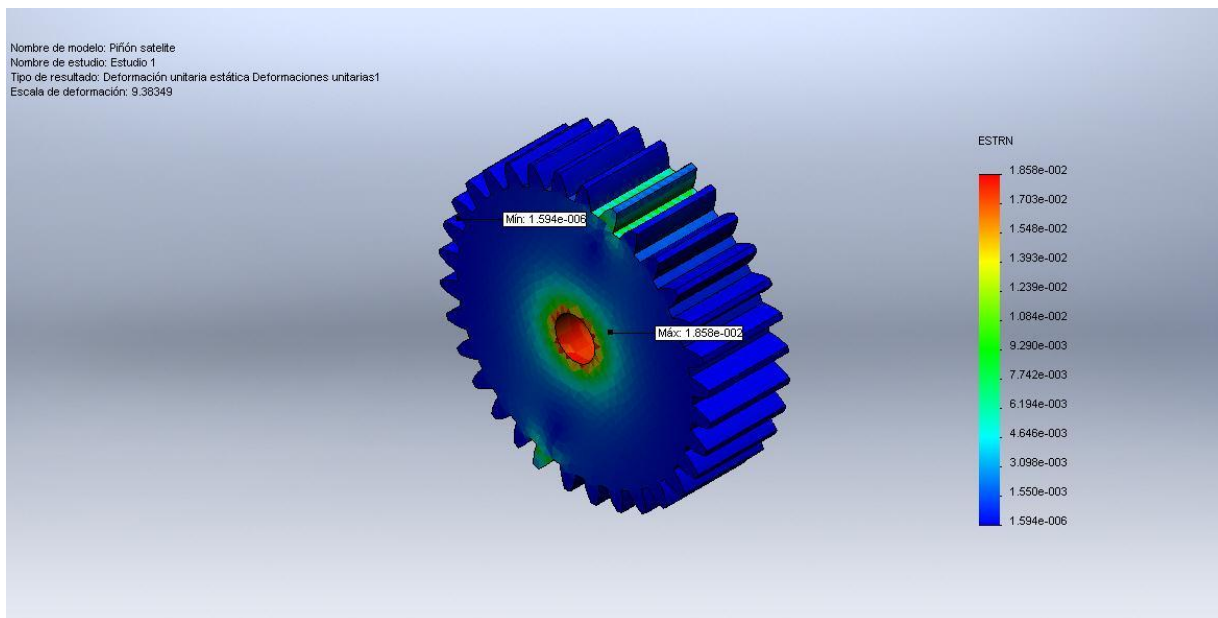


Figura 4. 27 Deformaciones unitarias piñón satélite

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa una deformación aceptable producto de las cargas aplicadas al piñón siendo las zonas cargadas las más afectadas.

4.2.2.4. Factor de seguridad

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.6637 Nodo: 259	39640.9 Nodo: 1358

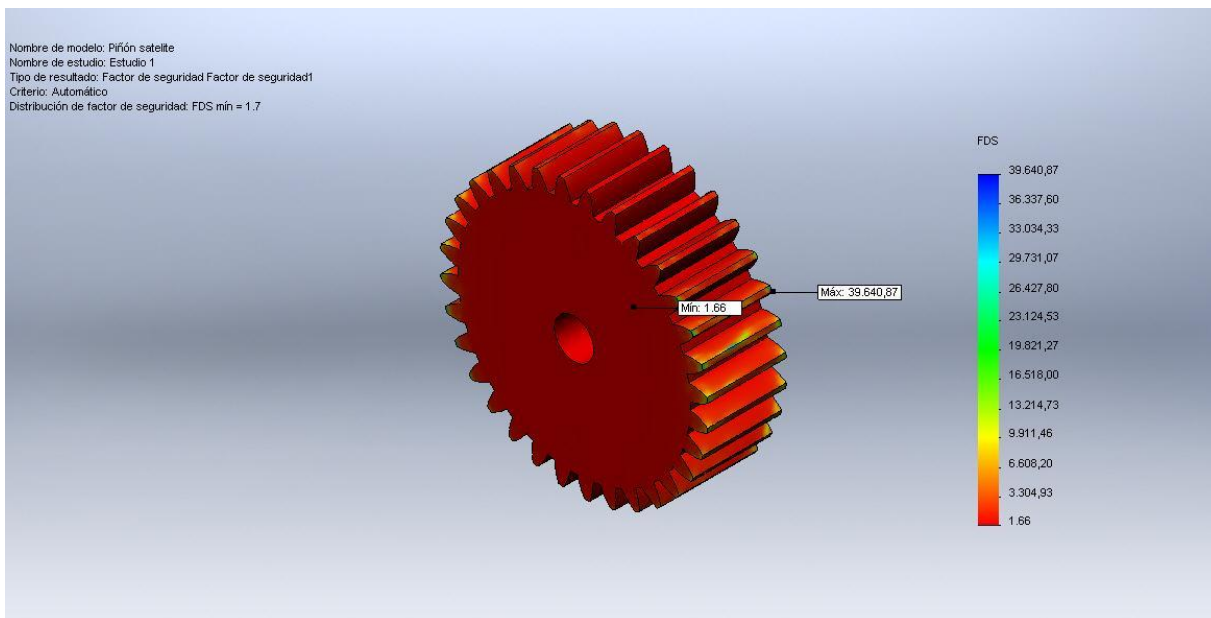


Figura 4. 28 Factor de seguridad piñón satélite

Realizado en Solidworks (2011).

El factor de seguridad se encuentra en un rango aceptable de acuerdo a las cargas actuantes en este tipo de material.

4.2.3. Análisis corona externa

Tabla 4. 11 Información de modelo – corona externa

Información de modelo

 Nombre del modelo: Corona externa Configuración actual: JIS - Spur gear 2M 125T 20PA 20FW ---S125A75H50L240N			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Bore 	Sólido	Masa:0.0810161 kg Volumen:7.23358e-005 m ³ Densidad:1120 kg/m ³ Peso:0.793958 N	D:\JOSE ACOSTA\Corona externa.SLDPRT May 24 12:49:58 2012

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/mm ² (MPa)

Tabla 4. 12 Propiedades de material - corona externa

Propiedades de material

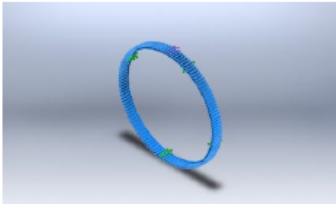
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 1.03649e+008 N/m² Límite de tracción: 9e+007 N/m² Módulo elástico: 2.62e+009 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.34 Densidad: 1120 kg/m³ Módulo cortante: 9.704e+008 N/m²	Sólido 1(Bore)(Corna externa)
Datos de curva:N/A		

Tabla 4. 13 Cargas y sujeciones - corona externa

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.130623	3540.79	-9348.07	9996.18
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 10000 N

Tabla 4. 14 Fuerzas y momentos de reacción - corona externa

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.130623	3540.79	-9348.07	9996.18

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N-m	0	0	0	0

Tabla 4. 15 Información de la malla - corona externa

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	2.31832 mm
Tolerancia	0.115916 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

4.2.3.1. Tensiones

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0 N/mm ² (MPa) Nodo: 41	293.827 N/mm ² (MPa) Nodo: 69732

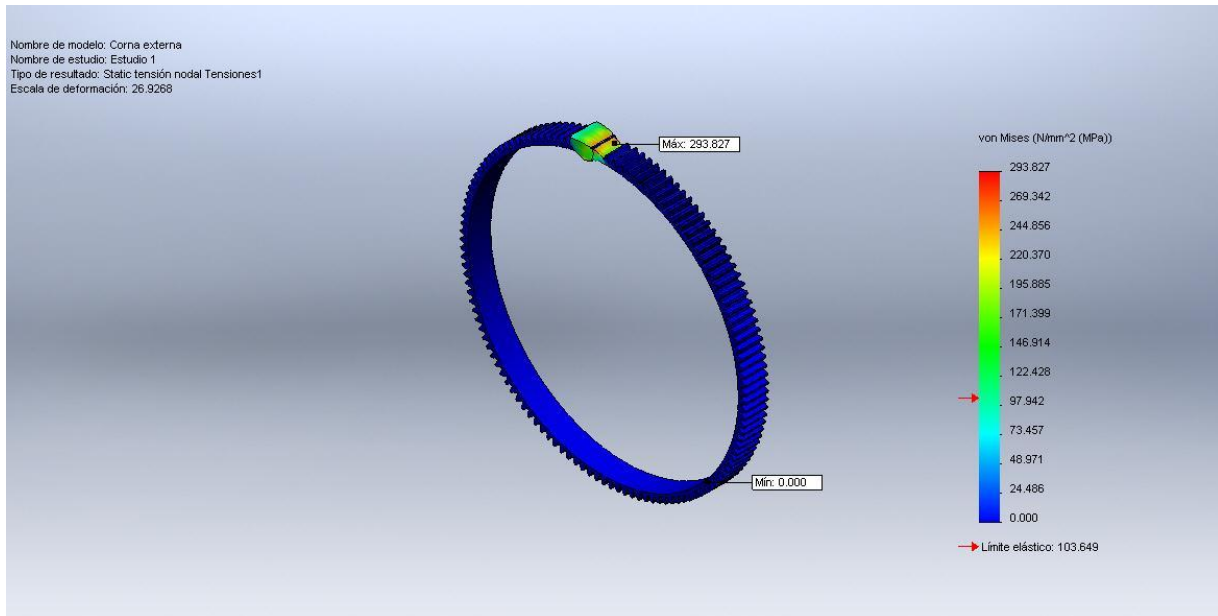


Figura 4. 29 Tensiones corona externa

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa que los dientes sometidos a carga son las regiones que presentan mayor tensión, siendo la mayor tensión encontrada muy inferior al límite de ruptura.

4.2.3.2. Desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.945162 mm Nodo: 56700

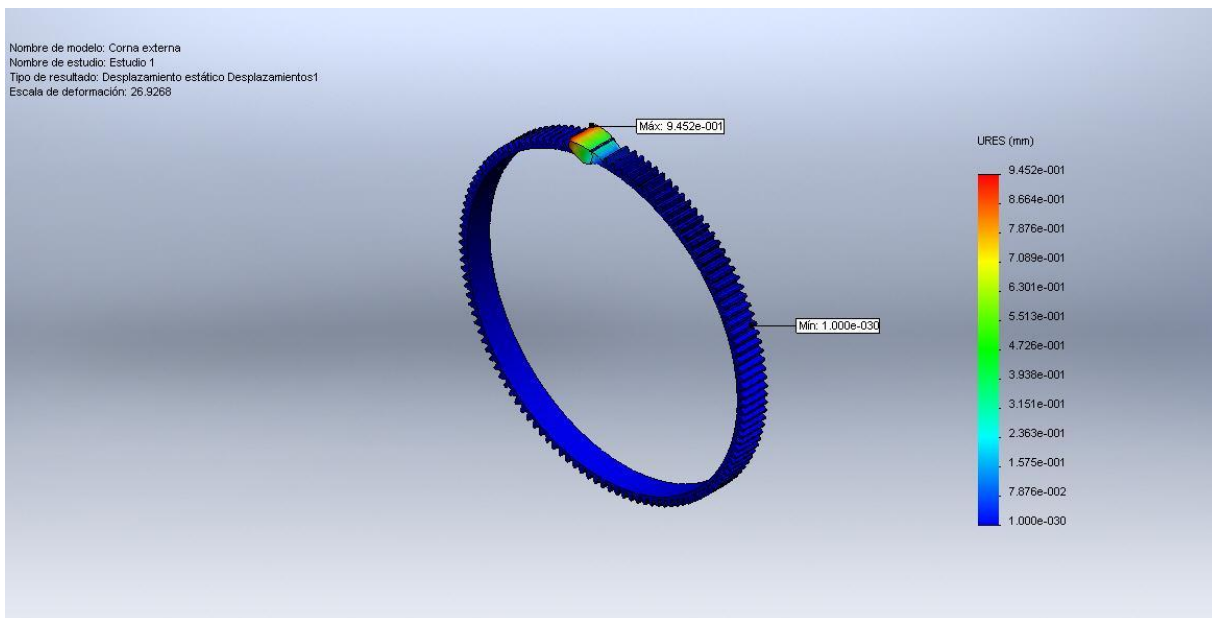


Figura 4. 30 Desplazamientos corona externa

Realizado en Solidworks (2011).

En el grafico superior se observa un desplazamiento mínimo correspondiente a la carga aplicada de 1000 [N]. siendo este perfectamente distribuido por todo el material, su valor máximo encuentra en las zonas cargadas.

4.2.3.3. Deformaciones unitarias

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0 Elemento: 6	0.0866407 Elemento: 3643

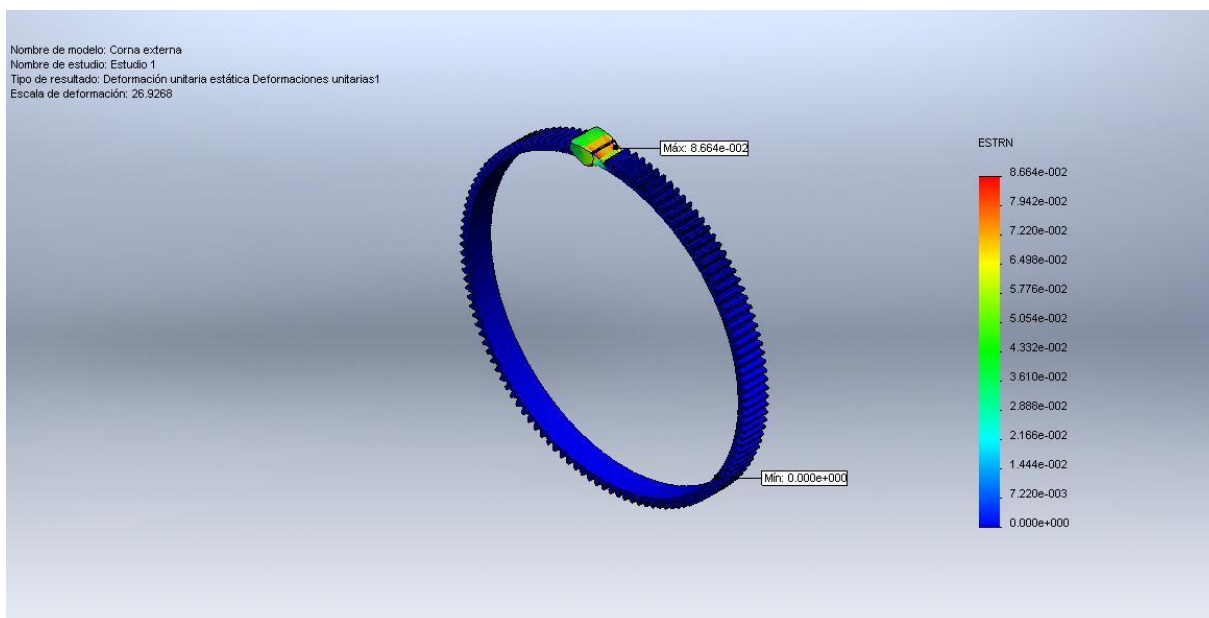


Figura 4. 31 Deformaciones unitarias corona externa

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa una deformación normal producto de las cargas aplicadas, siendo las zonas cargadas las más afectadas.

4.2.3.4. Factor de seguridad

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	0.352755 Nodo: 69732	1e+016 Nodo: 1

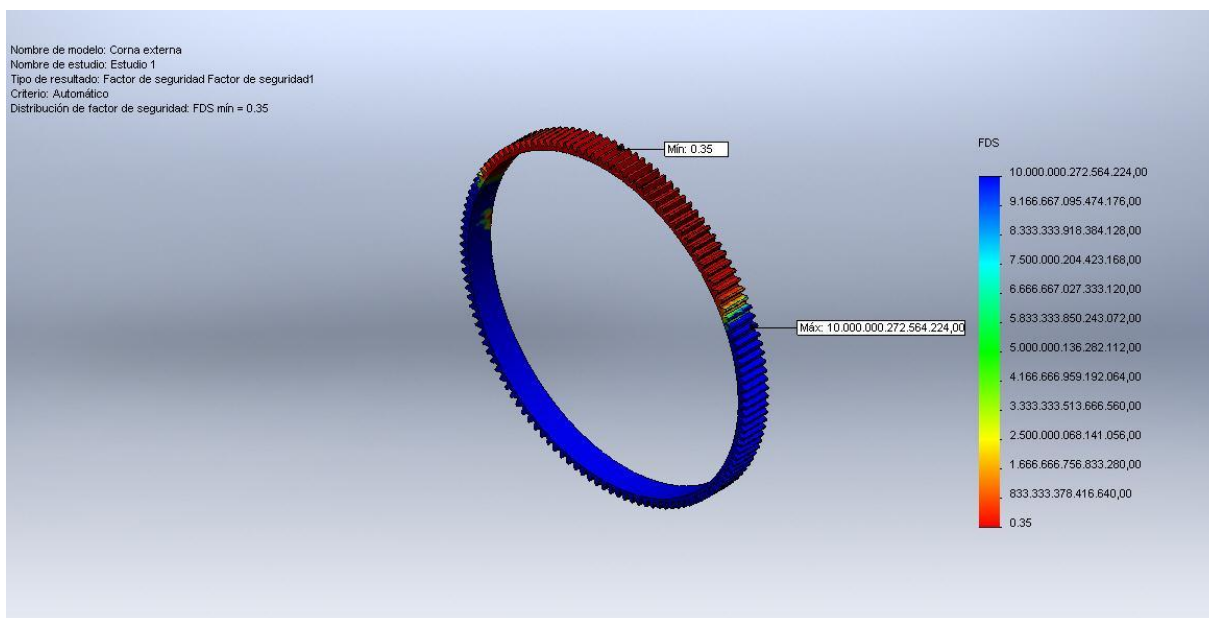


Figura 4. 32 Factor de seguridad corona externa

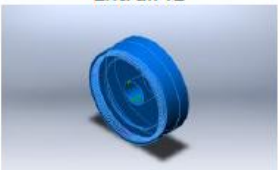
Realizado en Solidworks (2011).

El factor de seguridad se encuentra en un rango aceptable de acuerdo a las cargas actuantes en este tipo de material.

4.2.4. Análisis corona interna

Tabla 4. 16 Información de modelo - corona interna

Información de modelo

			
Nombre del modelo: Corona Configuración actual: JIS - Internal spur gear 2M 110T 20PA 20FW ---S110S240OD 1.0AF			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Extruir12 	Sólido	Masa:3.07192 kg Volumen:0.00274278 m³ Densidad:1120 kg/m³ Peso:30.1048 N	D:\JOSE ACOSTA\Corona.SLDPR T May 29 15:19:00 2012

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/mm ² (MPa)

Tabla 4. 17 Propiedades del material - corona interna

Propiedades de material

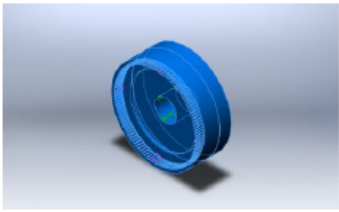
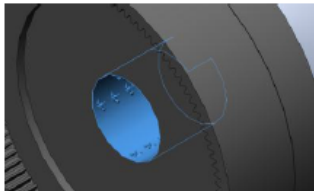
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 1.03649e+008 N/m² Límite de tracción: 9e+007 N/m² Módulo elástico: 2.62e+009 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.34 Densidad: 1120 kg/m³ Módulo cortante: 9.704e+008 N/m²	Sólido 1(Extruir12)(Corona)
Datos de curva:N/A		

Tabla 4. 18 Cargas y sujeciones - corona interna

Cargas y sujeciones

Cargas y sujeciones				
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.252128	-0.0942154	-0.0897541	0.283727
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

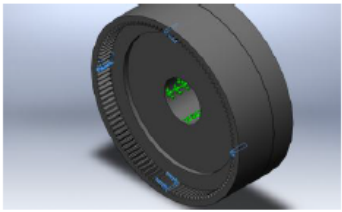
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 10000 N

Tabla 4. 19 Fuerzas y momentos de reacción - corona interna

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.252128	-0.0942154	-0.0897541	0.283727

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N-m	0	0	0	0

Tabla 4. 20 Información de la malla - corona interna

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	7.00034 mm
Tolerancia	0.350017 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

4.2.4.1. Tensiones

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.177257 N/mm ² (MPa) Nodo: 75523	253.334 N/mm ² (MPa) Nodo: 696

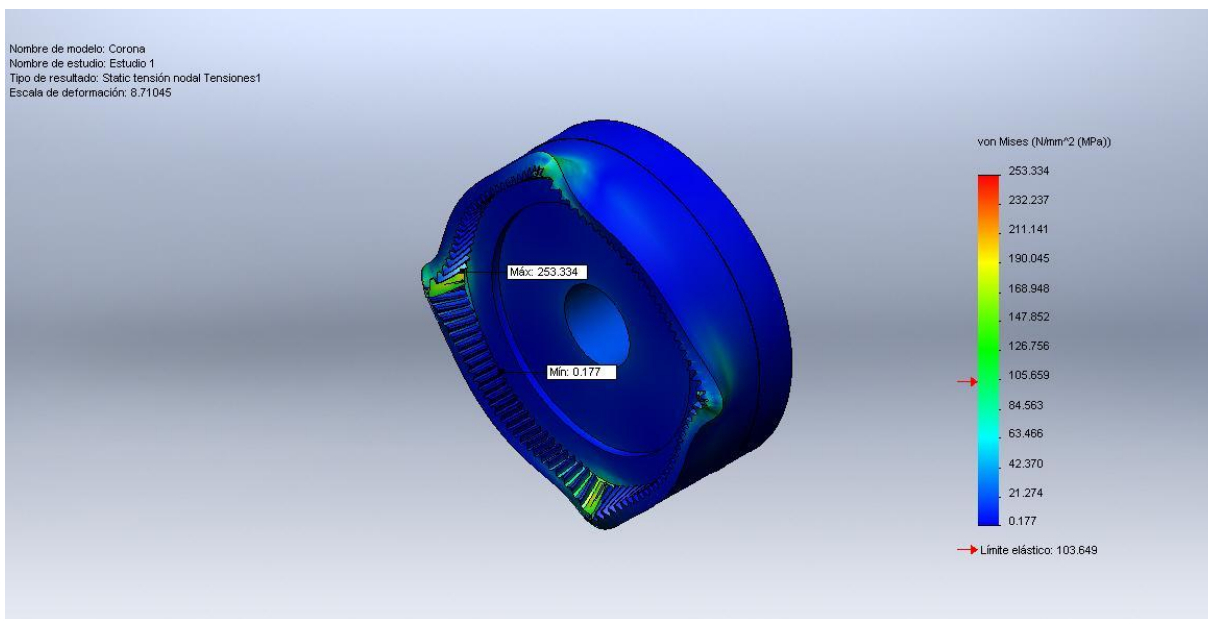


Figura 4. 33 Tensiones corona interna

Realizado en Solidworks (2011).

En la figura se observa que el dentado interno de la corona está sometido a cargas en las regiones que presentan mayor tensión, la cual se encuentra inferior al límite de ruptura.

4.2.4.2. Desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	3.3803 mm Nodo: 2911

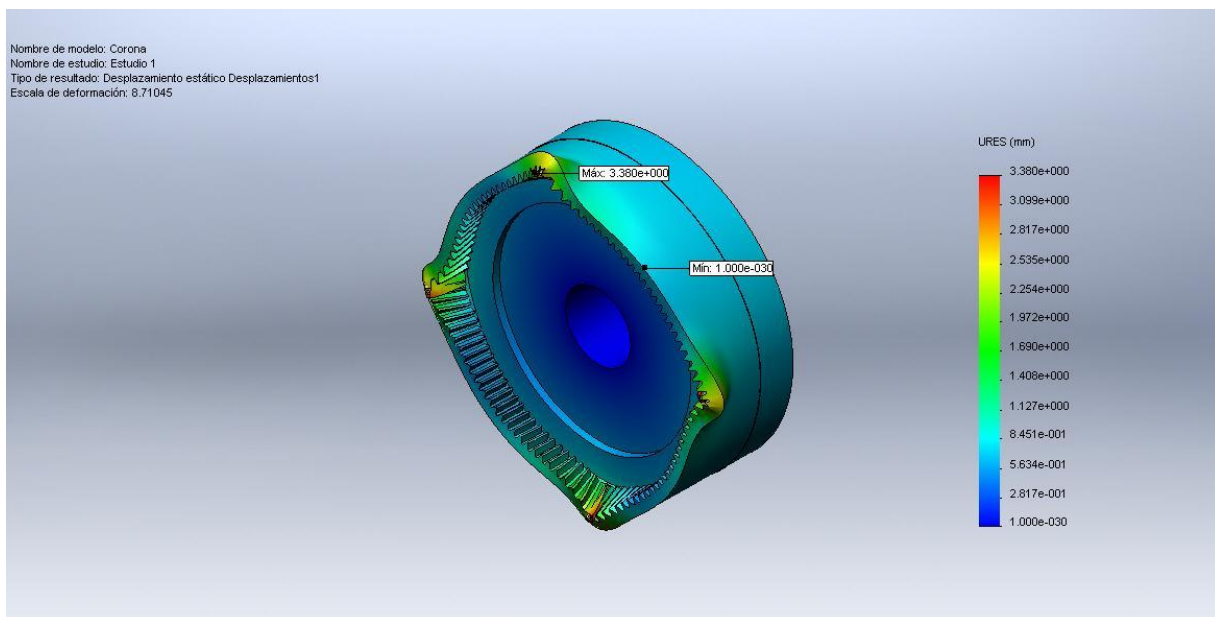


Figura 4. 34 Desplazamientos corona interna

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa un pequeño desplazamiento mínimo correspondiente a la carga de 10000 [N], su valor máximo se encuentra en las zonas cargadas

4.2.4.3. Deformaciones unitarias

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0.000131632 Elemento: 49646	0.0716338 Elemento: 56562

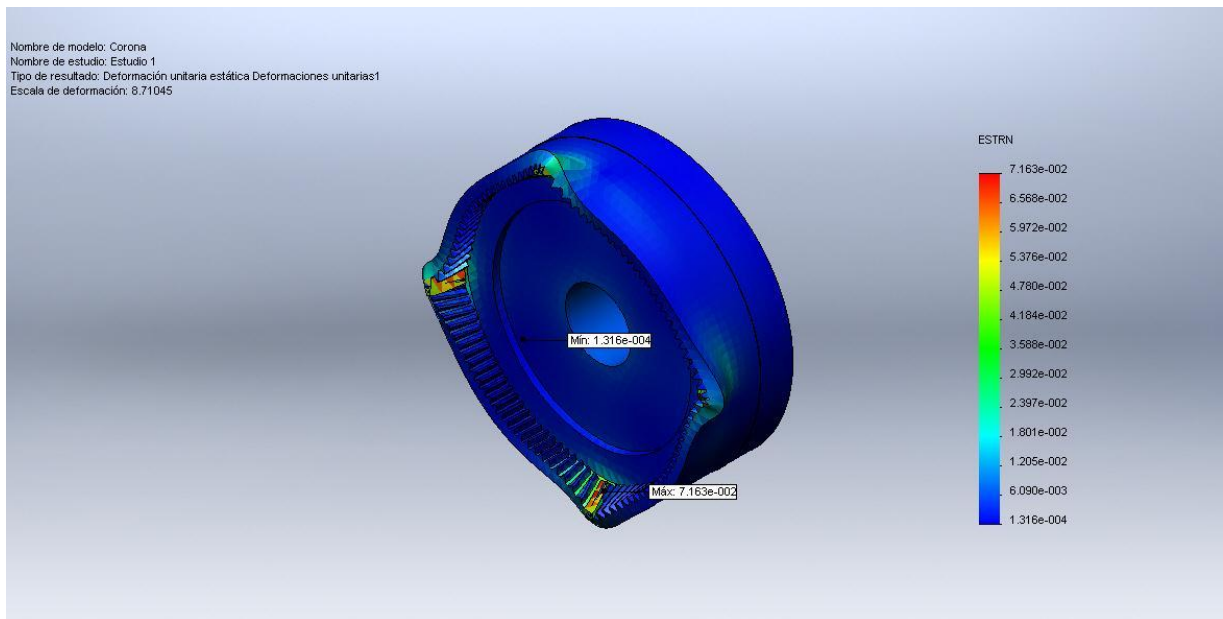


Figura 4. 35 Deformaciones unitarias corona interna

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa una deformación aceptable producto de las cargas aplicadas siendo las zonas cargadas las más afectadas.

4.2.4.4. Factor de seguridad

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	0.409139 Nodo: 696	584.737 Nodo: 75523

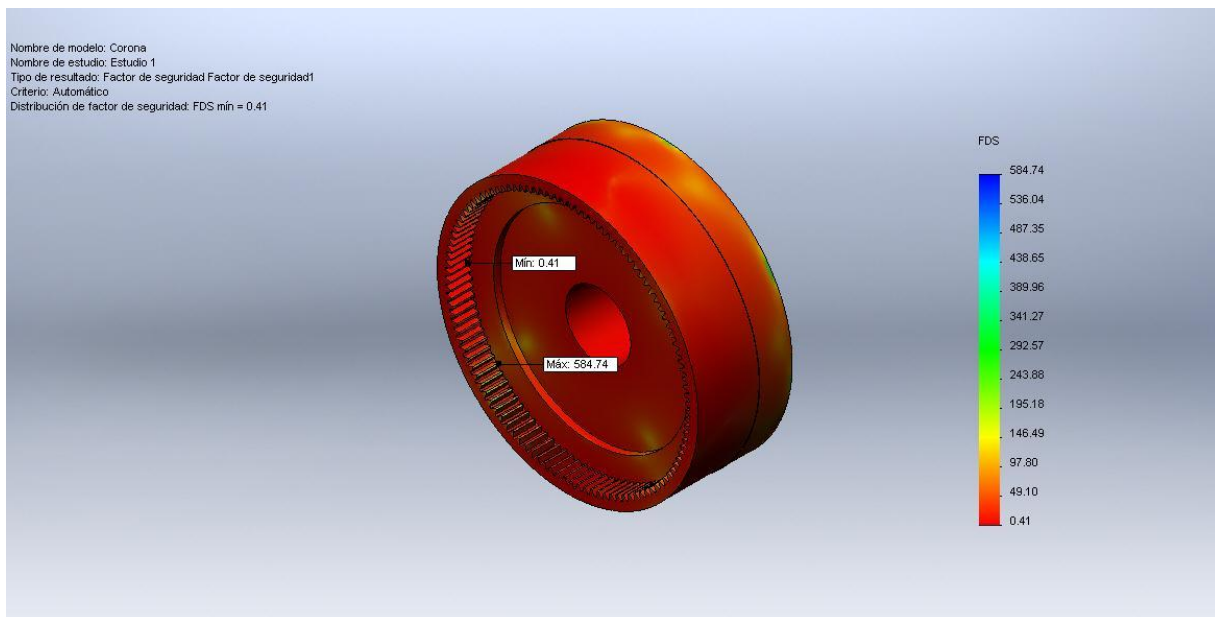


Figura 4. 36 Factor de seguridad corona interna

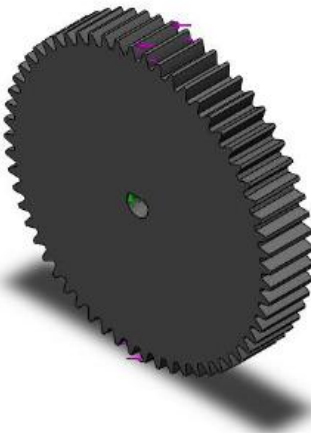
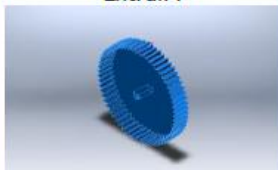
Realizado en Solidworks (2011).

El factor de seguridad se encuentra en un rango aceptable de acuerdo a las cargas actuantes en este tipo de material.

4.2.5. Análisis piñón reductor

Tabla 4. 21 Información de modelo – piñón reductor

Información de modelo

 Nombre del modelo: Piñón reductor Configuración actual: JIS - Spur gear 2M 60T 20PA 20FW ---S60A75H50L10N			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Extruir1 	Sólido	Masa:0.249258 kg Volumen:0.000222552 m ³ Densidad:1120 kg/m ³ Peso:2.44273 N	D:\JOSE ACOSTA\piñón reductor.SLDPRT May 29 14:12:42 2012

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/mm ² (MPa)

Tabla 4. 22 Propiedades de material - piñón reductor

Propiedades de material

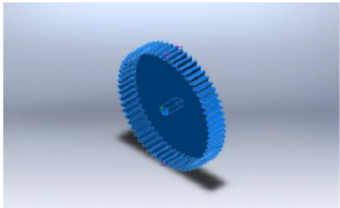
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 1.03649e+008 N/m ² Límite de tracción: 9e+007 N/m ² Módulo elástico: 2.62e+009 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0.34 Densidad: 1120 kg/m ³ Módulo cortante: 9.704e+008 N/m ²	Sólido 1(Extruir1)(Piñon reductor)
Datos de curva:N/A		

Tabla 4. 23 Cargas y sujeciones - piñón reductor

Cargas y sujeciones

Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	152.529	-521.991	47.3818	545.88
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

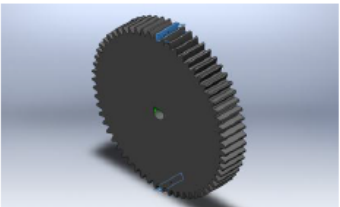
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 10000 N

Tabla 4. 24 Fuerzas y momentos - piñón reductor

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	152.529	-521.991	47.3818	545.88

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N-m	0	0	0	0

Tabla 4. 25 Información de malla - piñón reductor

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3.03088 mm
Tolerancia	0.151544 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

4.2.5.1. Tensiones

Nombre	Tipo	Min.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.00188449 N/mm ² (MPa) Nodo: 1599	884.305 N/mm ² (MPa) Nodo: 80169

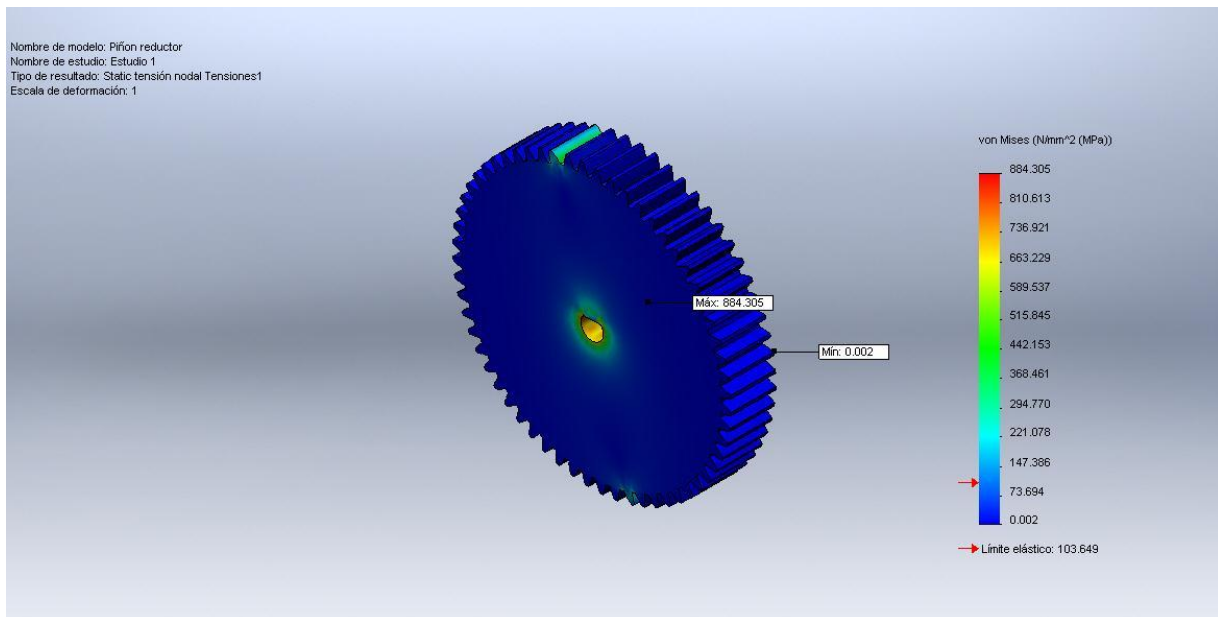


Figura 4. 37 Tensiones piñón reductor

Realizado en Solidworks (2011).

En la figura se observa que los dientes del engranaje reductor están sometidos a carga en las regiones que presentan mayor tensión, siendo que la mayor tensión encontrada se encuentra inferior al límite de ruptura.

4.2.5.2. Desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	16.0297 mm Nodo: 68763

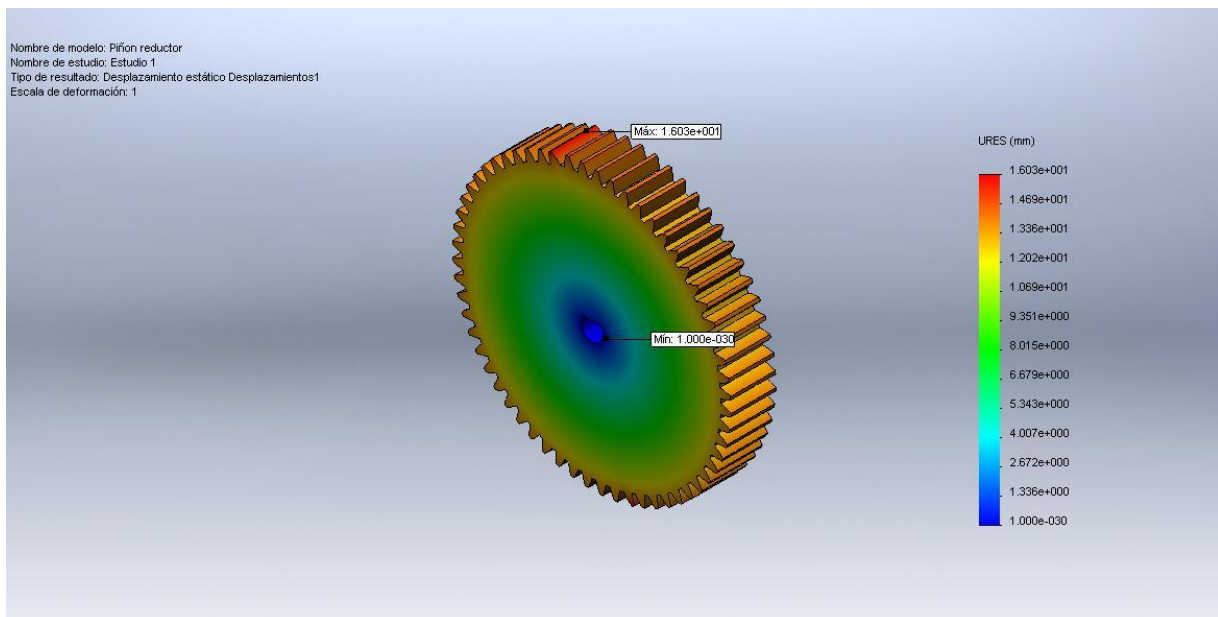


Figura 4. 38 Desplazamientos piñón reductor

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa un pequeño desplazamiento mínimo correspondiente a la carga de 10000 [N], siendo este perfectamente distribuido por todo el material, su valor máximo encuentra en las zonas cargadas.

4.2.4.3. Deformaciones unitarias

Nombre	Tipo	Min.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	9.43387e-007 Elemento: 11108	0.255215 Elemento: 34246

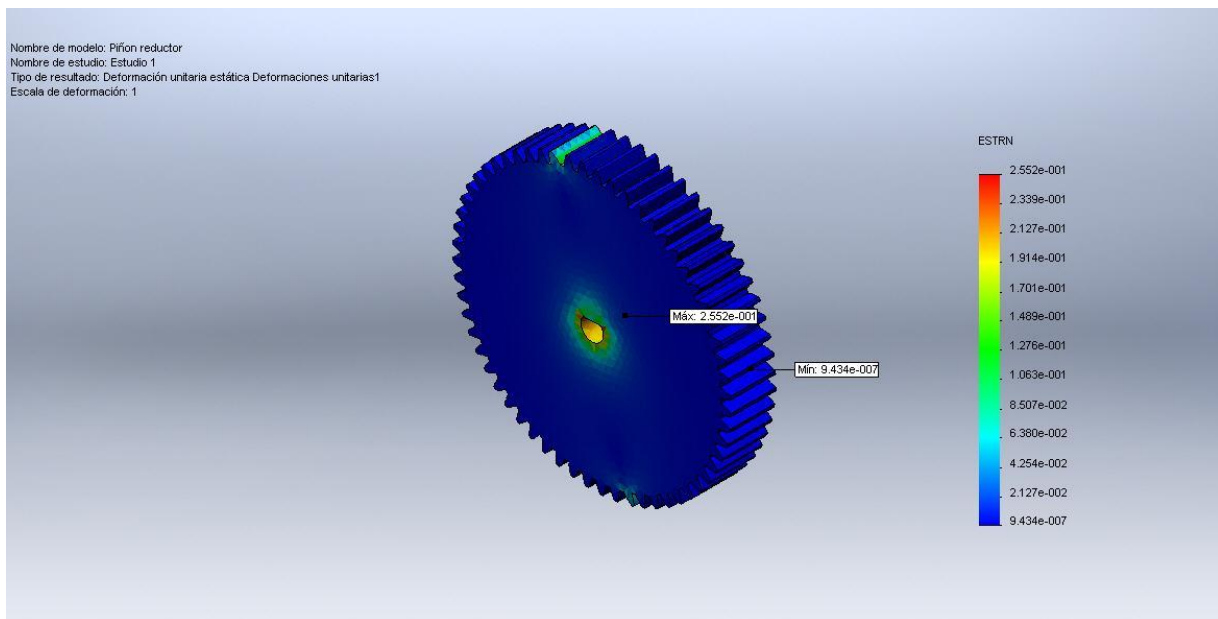


Figura 4. 39 Deformaciones unitarias piñón reductor

Realizado en Solidworks (2011).

Se observa una deformación normal producto de las cargas siendo las zonas cargadas las más afectadas.

4.2.4.4. Factor de seguridad

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	0.117209 Nodo: 80169	55001 Nodo: 1599

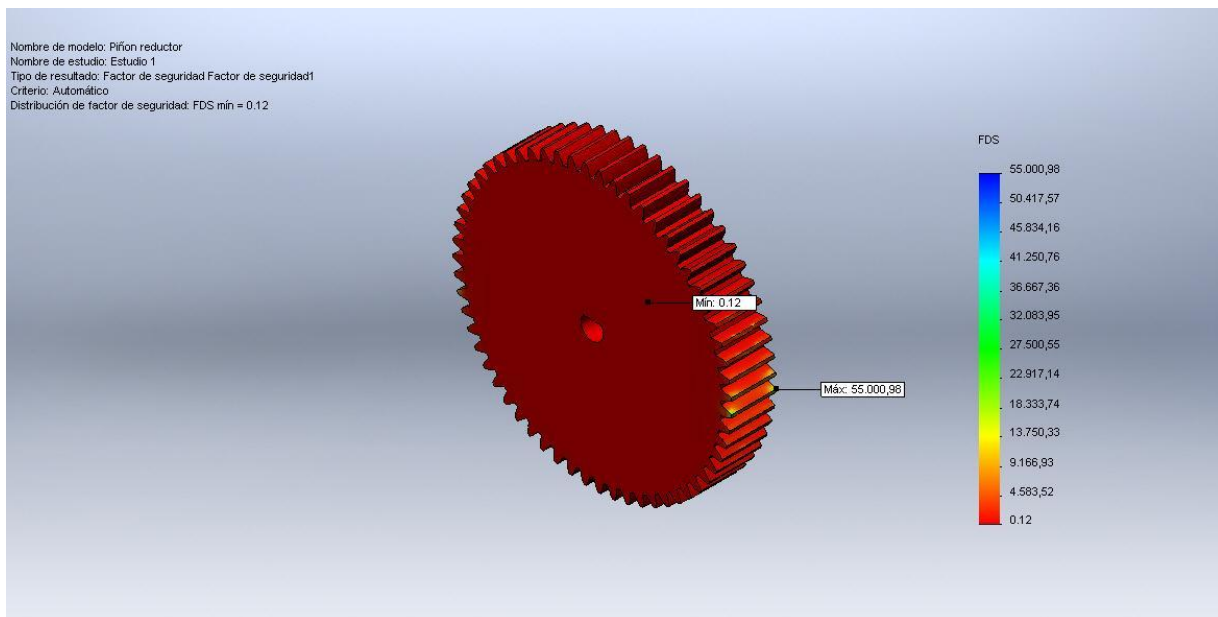


Figura 4. 40 Factor de seguridad piñón reductor

Realizado en Solidworks (2011).

El factor de seguridad se encuentra en un rango aceptable de acuerdo a las cargas actuantes en este tipo de material.

CAPITULO 5

ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. EVALUACION DE FUNCIONAMIENTO

Luego de haber realizado el estudio del funcionamiento de un vehículo híbrido en los capítulos iniciales lo cual me ha permitido tener una idea clara de la operación y estructura del sistema híbrido, para posteriormente iniciar la construcción y realizar las respectivas pruebas y análisis del modelo de transmisión híbrido, las cuales son satisfactorias para los fines a emplearse a favor de la enseñanza y capacitación técnica permitiendo una buena comprensión por parte del estudiante o técnico a capacitar.

El modelo de sistema de transmisión híbrido esta conformado por tres manijas de accionamiento y un disco, estos elementos permiten la entrada de fuerza manual de propulsión hacia el tren epicicloidal similar a lo que ocurre en el sistema de transmisión híbrido real.

El poder puede provenir del motor de combustión interna (ICE = manija izquierda), el generador del motor 1 (MG1 disco de accionamiento) y el motor del generador 2 (manija derecha). MG2 impulsa las ruedas directamente (solidario a la corona), o el impulso del vehículo (rueda motriz) empuja las ruedas que hacen girar a MG2 para recuperar la energía durante el frenado.

ICE en el sistema de transmisión del Toyota Prius gira en una sola dirección a diferencia del modelo didáctico el cual gira en ambos sentidos, teniendo en cuenta que el real se encuentra conectado a un motor de combustión interna en operación.

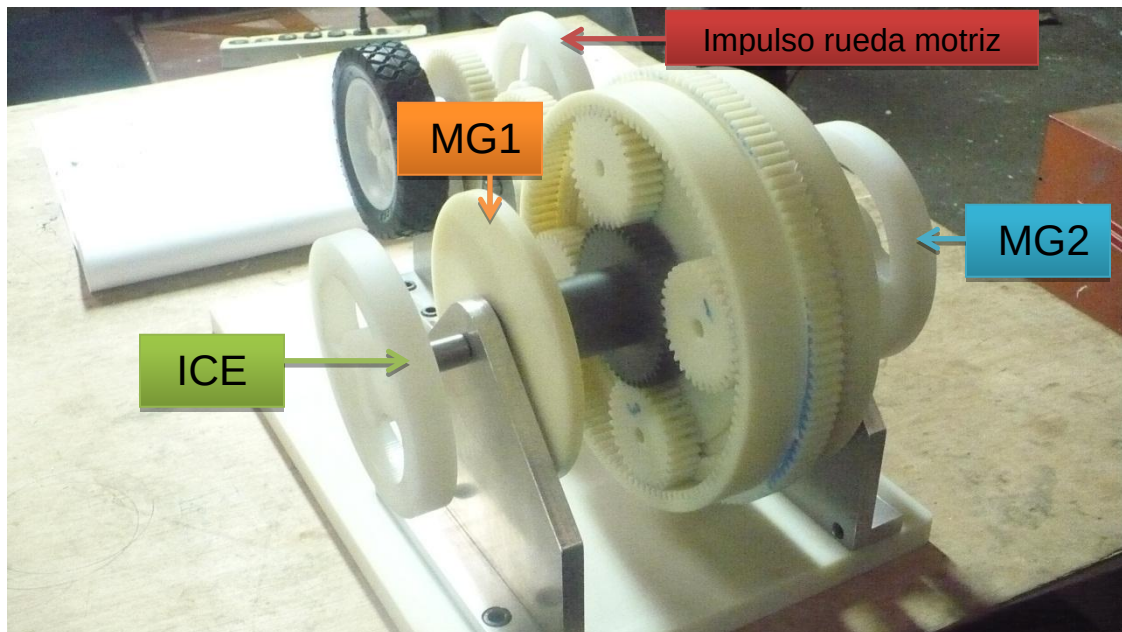


Figura 5. 1 Estructura del modelo de transmisión híbrido

Acosta, José. (2012)

5.2. ANALISIS COMPARATIVO



Figura 5. 2 Análisis PSD y modelo construido

Acosta, José. (2012)

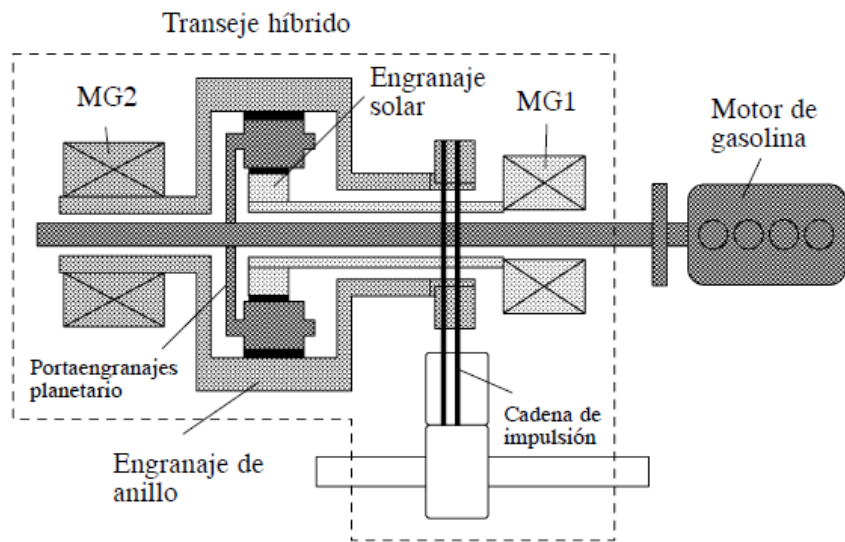
Tabla 5. 1

	PSD (Toyota Prius)	Modelo construido
Estructura: solar , satélites y corona	Ok	Ok
Materiales	Acero	Nylon 6/10
Dentado	Helicoidal	Recto
Mecanismo reductor	Ok	Ok
Fines	Operación	Capacitación

El prototipo de transmisión híbrido está provisto de un juego de engranajes fabricados en Nylon 6 – 10; material que brinda amplias características como son: buena resistencia mecánica, peso, resistencia al desgaste y tenacidad aparte de ser muy utilizado en la industria para la fabricación de engranajes, cojinetes, etc. Siendo propiedades favorables para las funciones que va cumplir el prototipo.

Los elementos del engranaje planetario: solar, corona, satélites se conectan entre si manualmente mediante los volantes o el disco de accionamiento permitiendo observar cómo se distribuye la fuerza por los engranes dando una idea clara de la operación de un vehículo híbrido. Como se lo había estudiado en capítulos anteriores gracias al uso del sistema de engranajes planetario es posible conmutar el motor térmico y los dos motores generadores del vehículo híbrido, el mismo que en su modelo operativo permite manejar altos torques en sus engranajes y facilitar los modos de operación del vehículo.

El prototipo construido es operativo y ligero en comparación a otros materiales que de haberlos elegido al inicio debido a sus propiedades: densidad y dureza el tiempo y costo del maquinado hubiese sido más alto. Siendo un material sobredimensionado para la aplicación considerando que no va estar sometido a temperatura y altos esfuerzos.



255CH19

Figura 5. 3 Transeje híbrido Prius

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

Como se puede comparar en los gráficos el modelo de transmisión real y el modelo construido observamos que el flujo de y conexión de fuerzas propulsoras obedece al real el cual es plasmado en uno practico que facilita el entendimiento y aprendizaje.

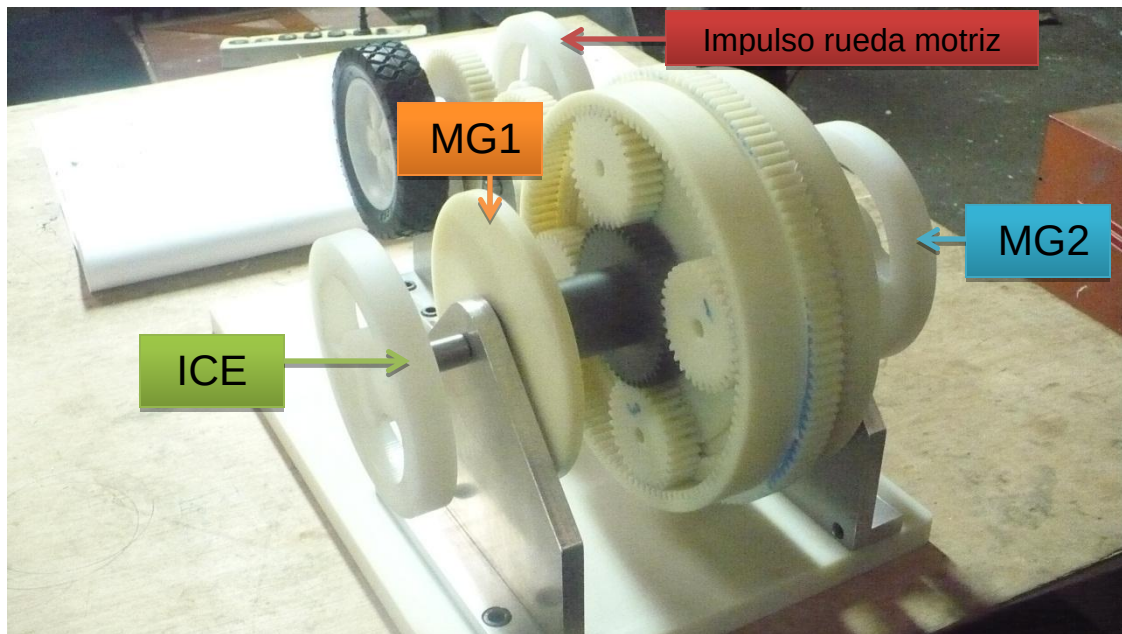


Figura 5. 4 Modelo transeje hibrido construido

Toyota Technical Training. (2006). Sistemas Híbridos.

5.3. SIMULACIÓN DE OPERACIÓN EN TIEMPO REAL MEDIANTE UN SOFTWARE.

Mediante la ejecución del software “Prius Driving Simulator” versión 1.4.0-2 copyright(c) 2002 m.matsubara, podemos apreciar la operación del vehículo híbrido Toyota prius en los distintos modos de operación observando a cuantas vueltas giran MG1-MG2-ICE y como estos trabajan indistintamente de acuerdo a la carga y exigencia al acelerador por parte del conductor o a su vez si decide empezar a frenar el vehículo. Este software nos permite variar parámetros como la aceleración y frenado moviendo las barras de desplazamiento verticales.

En el simulador podemos variar las posiciones de la palanca de cambios observando como se distribuye la fuerza a través del sistema de engranajes planetario PSD (repartidor de potencia) y el flujo de energía en la estructura del vehículo como observamos a continuación, aparte tenemos indicadores de velocidad del vehículo, carga de baterías y consumo de combustible, lo cual facilita la comprensión, análisis y estudio.

Cabe aclarar que en el simulador se denomina Motor elect. 1 el engranaje anillo o corona y al Motor elec. 2 al engranaje solar, siendo necesario tener en cuenta que el PSD del Toyota prius el MG1 conecta con el engranaje solar y MG2 con el anillo o corona como lo estudiado en capítulos anteriores, para evitar confusiones teniendo en cuenta que es un software simulación que trata de facilitar la comprensión en este tema.

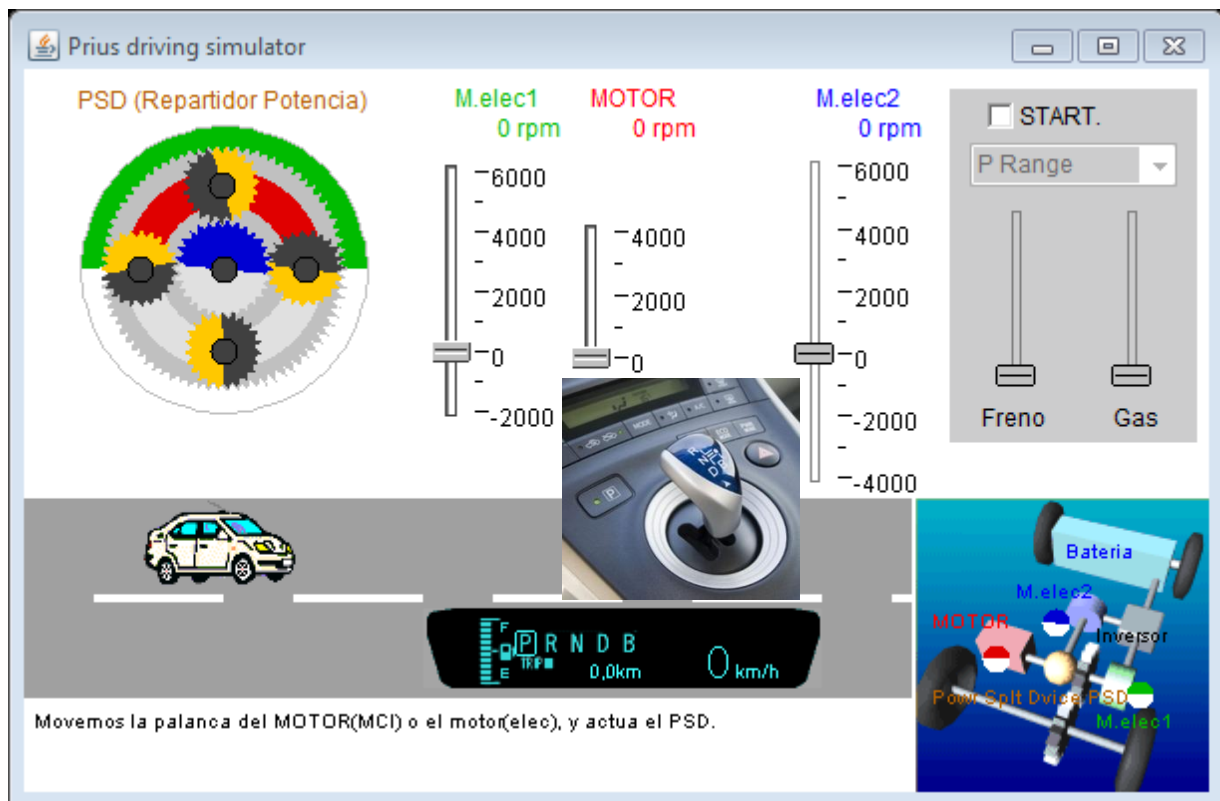


Figura 5. 5 Operación simulador boton panel “P”

Prius Driving Simulator” versión 1.4.0-2 copyright(c) 2002 m.matsubara

Cuando el conductor presiona el interruptor de estacionamiento situado encima del conjunto de cambios de la transmisión, el control de la posición “P” acciona el actuador de control de cambios situado en el transeje híbrido para bloquear mecánicamente el contraengranaje impulsado, que aplica el freno de estacionamiento.

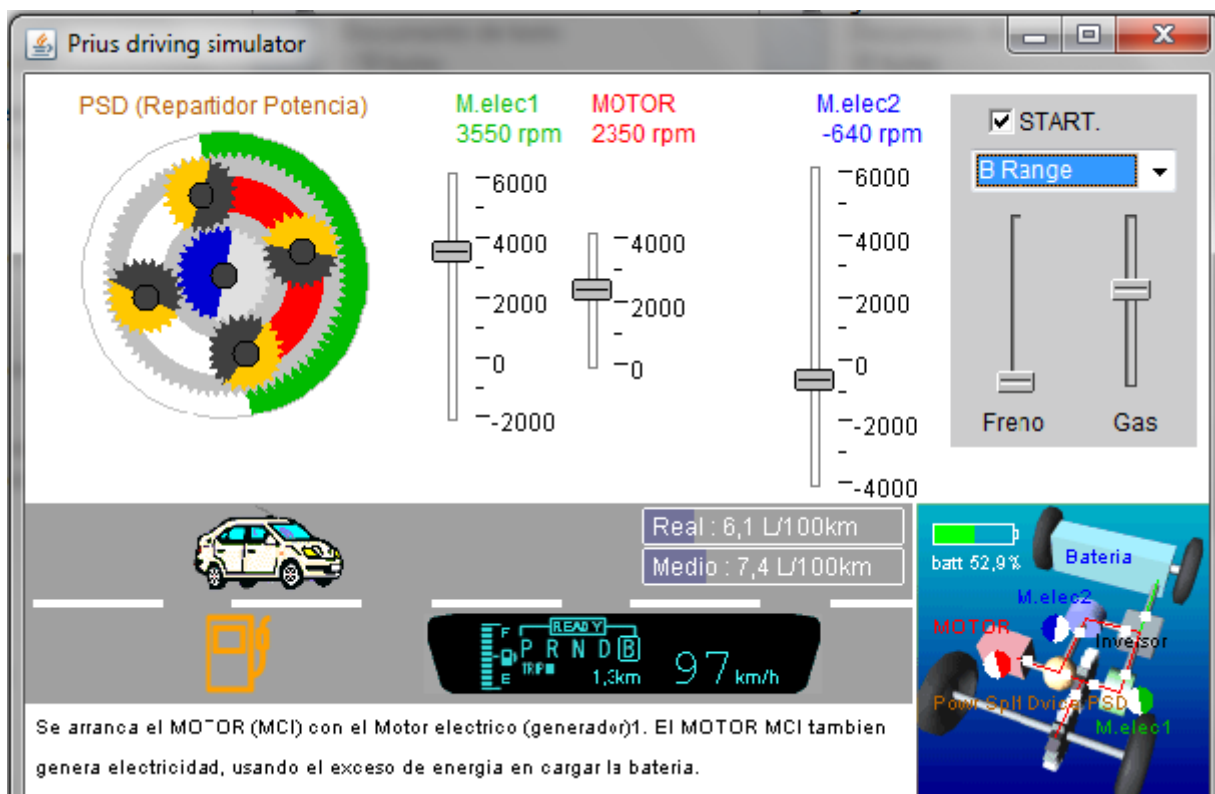


Figura 5. 6 Operación simulador posición “B”

Prius Driving Simulator” versión 1.4.0-2 copyright(c) 2002 m.matsubara

En este sistema, la posición “B” opera el margen de frenado de motor. Por lo tanto, el cambio a la posición “B” desde una posición que no sea “D” está prohibido. En esta fase se aprovecha la energía que comúnmente sería desperdiciada en un auto convencional para cargar las baterías mediante el motor eléctrico que opera en función de generador transformando en electricidad parte de la energía cinética que se transmite de las ruedas.

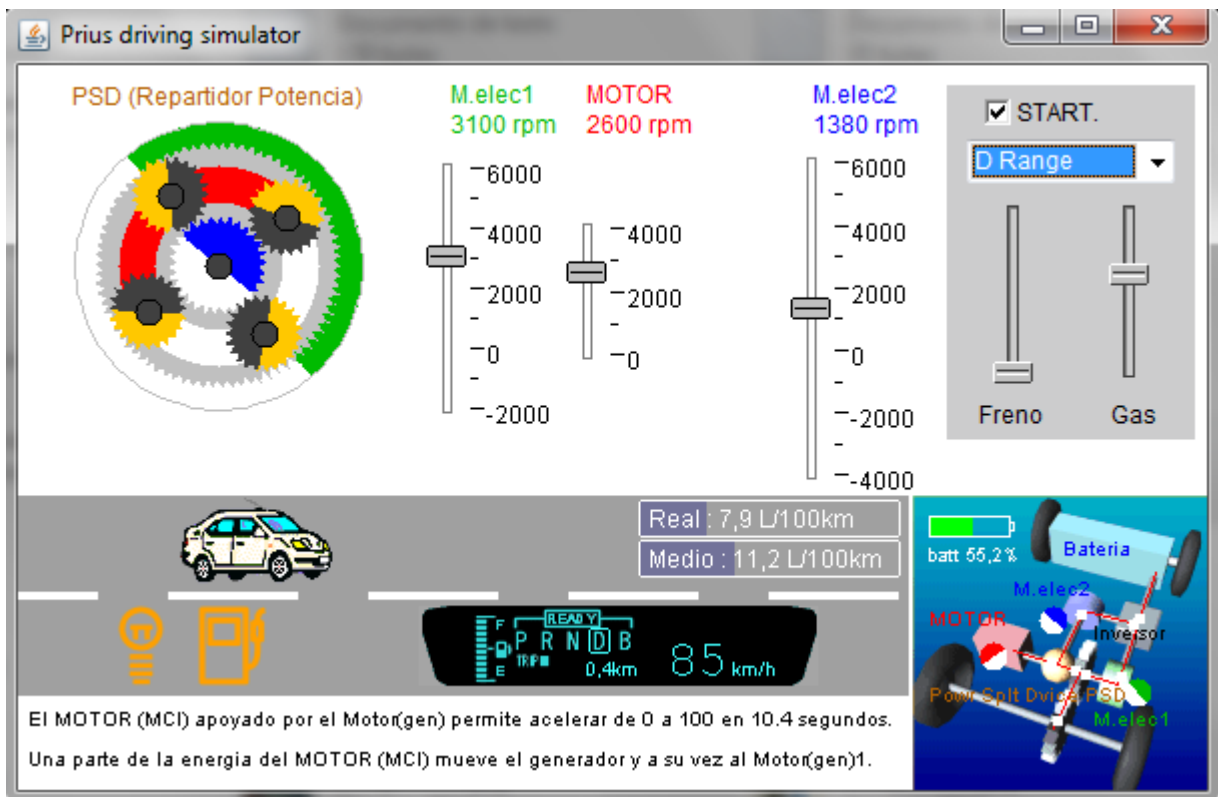


Figura 5. 7 Operación simulador posición “D”

Prius Driving Simulator” versión 1.4.0-2 copyright(c) 2002 m.matsubara

En la puesta en marcha vehículo empieza a moverse solo a través del motor eléctrico MG1 y la energía de la batería.

Cuando el auto alcanza una velocidad constante la fuerza que da el motor térmico se divide entre el generador y el motor eléctrico o bien se utiliza para mover mecánicamente al motor eléctrico, la corriente que proporciona el generador en este caso puede ir a la batería o al motor eléctrico.

Si el conductor acelera fuerte el motor eléctrico alimentado por las baterías ayuda al motor térmico, lo cual solo es posible mientras la carga de la batería no baje de cierto limite.

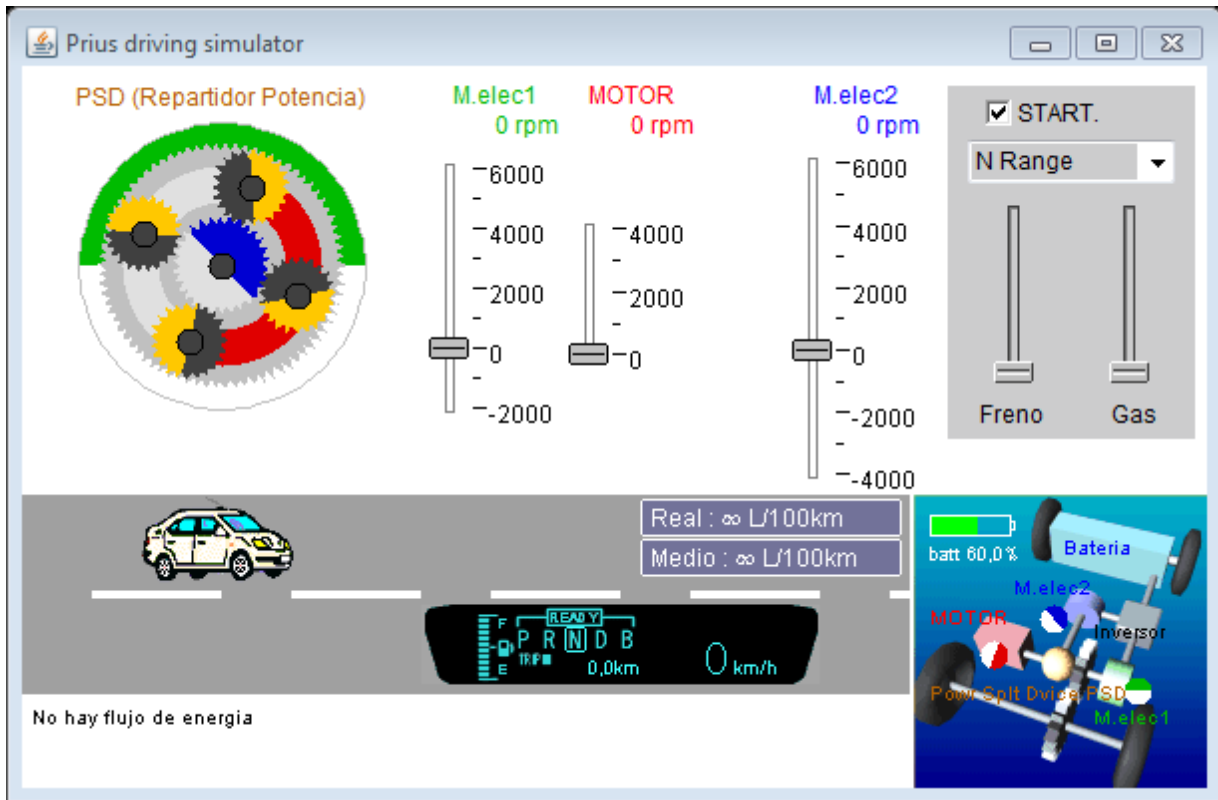


Figura 5. 8 Posición “N” o punto muerto

Prius Driving Simulator” versión 1.4.0-2 copyright(c) 2002 m.matsubara

MG1 y MG2 se desconectan cuando la transmisión está en la posición “N”. Ello se debe a que MG1 y MG2 deben detenerse eléctricamente como medio para poder desconectar la fuerza motriz, porque MG2 está mecánicamente unido a las ruedas delanteras.

Como podemos apreciar en la figura no existe flujo de energía.

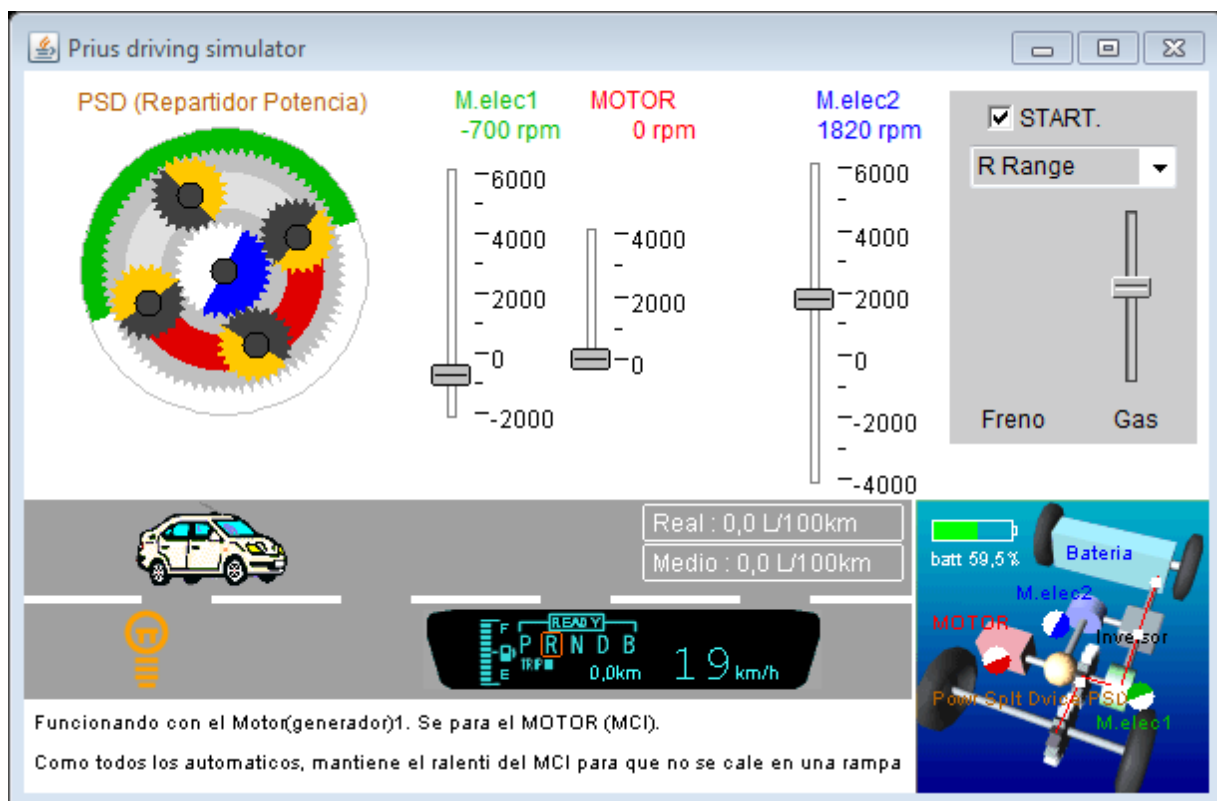


Figura 5. 9 Posición “R” o marcha atrás

Prius Driving Simulator” versión 1.4.0-2 copyright(c) 2002 m.matsubara

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En el desarrollo del proyecto llegue a esquematizar y simplificar información obtenida a través de medios de investigación digital y bibliográfica a fin de proporcionar un documento que permita una capacitación integral sobre el sistema y sirva como base para la comprensión en otros sistemas híbridos.
- Se logra la construcción de un modelo de transmisión híbrido el cual es satisfactorio, luego de haber realizado pruebas, el mecanismo se encuentra funcionando y apto para la aplicación didáctica – práctica, finalidad para la que fue diseñado.
- El afán por investigar y conocer sobre esta nueva tecnología motiva en sus inicios a revisar manuales técnicos, documentos electrónicos y observar videos detenidamente para tener una idea clara sobre el diseño y construcción del modelo de transmisión híbrido, de modo que aporte activamente a la comprensión rápida y clara a los estudiantes.

RECOMENDACIONES

- El documento presentado es apto como fuente de consulta y se lo puede tomar como base para otros tipos de investigaciones afines al tema.
- Se recomienda la lectura del funcionamiento del sistema híbrido para de este modo de tener una noción clara de la operación del mecanismo que permita una adecuada manipulación. Es necesario tener la precaución de no ejercer fuerzas excesivas sobre las manivelas de accionamiento o traccionar excesivamente.
- Se sugiere tener en cuenta normas de seguridad básicas sobre manipulación de engranajes, al momento que estos se encuentren girando. El sistema va girar con velocidades bajas, accionadas por el brazo humano sin embargo hay que tomar precauciones.
- Realizar el mantenimiento de los engranajes usando una grasa liviana, rodamientos y limpieza del modelo de transmisión híbrido.
- Evitar que el mecanismo sea usado u operado por personas no capacitadas en el área automotriz.

Bibliografía

Biblos

Robert L. Mott, P. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. Mexico: PEARSON Educación.

Bosch, R. (2005). *MANUAL TECNICA DEL AUTOMOVIL*. Alemania: 4ta edición .

Toyota Technical Training. (2006). *Sistemas Híbridos*.

Cise Electronics Corp. (2013). *Manual Híbridos II*. Miami.

Brejcha, M. F. (1978). *Los Cambios automáticos*. España : Reverte .

Citados web

© 1998-2013 HowStuffWorks, I. (2013). *HowStuffWorks*. Obtenido de <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/hybrid-technology/history-of-hybrid-cars.htm>

Costas, J. (25 de Junio de 2009). <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>.

Aficionados a la Mecánica ©. (2012). <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.

Copyright (c) 2012 Impress Watch Corporation. (2012). <http://car.watch.impress.co.jp>. Obtenido de <http://car.watch.impress.co.jp>: http://car.watch.impress.co.jp/img/car/docs/511/773/html/IMG_0143.jpg.html

Diariomotor. (19 de Abril de 2009). *Diariomotor*. Recuperado el 2013, de <http://www.diariomotor.com/2009/04/19/lohner-porsche-mixte-hybrid-el-primer-hibrido-de-la-historia/>

Foro de XenForo™ software Ltd. © 2010-2012 XenForo. (2011-2013). <http://priuschat.com/>. Obtenido de <http://priuschat.com/>: <http://priuschat.com/threads/four-wheel-drive-prius.99983/>

HistoryOfHybridCars.com. (2008). <http://www.historyofhybridcars.com/>.

<http://www.todomecanica.com>. (2012). <http://www.todomecanica.com/sistemas-transmision/nociones-caja-de-cambio-automca.html>. Recuperado el 2012, de <http://www.todomecanica.com/sistemas-transmision/nociones-caja-de-cambio-automca.html>.

Pelletier, Y. (2007). <http://web.ncf.ca/ch865/graphics/Simpson.jpg>.

Training, Toyota Technical. (2006). *Fundamentals of Automatic Transmissions*.

Wikipedia. (2011). http://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje_planetario.

ANEXOS

Planos de elementos construidos

Tablas de Materiales

Nº de elemento	Pieza	Material	Cantidad
1	Bastidor	Aluminio	2
2	Manzana de la corona	Nylon 6 – 10	1
3	Porta - satélites	Nylon 6 – 10	1
4	Disco	Nylon 6 – 10	1
5	Placa base	Nylon 6 – 10	1
6	Soportes reductores	Aluminio	4
7	Eje 1	Acero	1
8	Eje 2	Acero	1
9	Manija	Nylon	3
10	Rodamientos	HBL 6200RS	13
11	Rueda	Plástico universal	1

Elaborado: José Acosta J.

Nailon 6/10

Material	Nailon 6/10
Módulo elástico	8.3e+009 N/mm ²
Coeficiente Poisson	0.28
Módulo cortante	3.2e+009 N/mm ²
Coeficiente de expansión térmica	3e-005 /Kelvin
Densidad	1400 kg/mm ³
Conductividad térmica	0.53 W/(m.K)
Calor específico	1500 J/(kg.K)
Límite de tracción	1.4256e+008 N/mm ²
Límite elástico	1.3904e+008 N/mm ²

Solidworks (2012).

Acero AISI 1020

Material	Acero AISI 1020
Módulo elástico	2e+011 N/mm2
Coeficiente Poisson	0.29 N/D
Módulo cortante	7.7e+010 N/mm2
Coeficiente de expansión térmica	1.5e-005 /Kelvin
Densidad	7900 kg/mm3
Conductividad térmica	47 W/(m.K)
Calor específico	420 J/(kg.K)
Límite de tracción	420507000 N/mm2
Límite elástico	351571000 N/mm2

Solidworks (2012).

Aluminio 6061 T6

Material	Aluminio 6061 T6 SS
Módulo elástico	6.900000067e+010 N/mm2
Coeficiente Poisson	0.33 N/D
Módulo cortante	2.600000013e+010N/mm2
Coeficiente de expansión térmica	2.4e-005 /Kelvin
Densidad	2700 kg/mm3
Conductividad térmica	166.9 W/(m.K)
Calor específico	896 J/(kg.K)
Límite de tracción	310000002.1 N/mm2
Límite elástico	275000000.9 N/mm2

Solidworks (2012).

Rodamiento rígido de bolas	HBL 6200RS
Capacidad de carga dinámica	5,10 k/N
Capacidad de carga estática	2,40 k/N
Velocidad lubricación grasa	24000 rpm
Velocidad lubricación aceite	29000 rpm